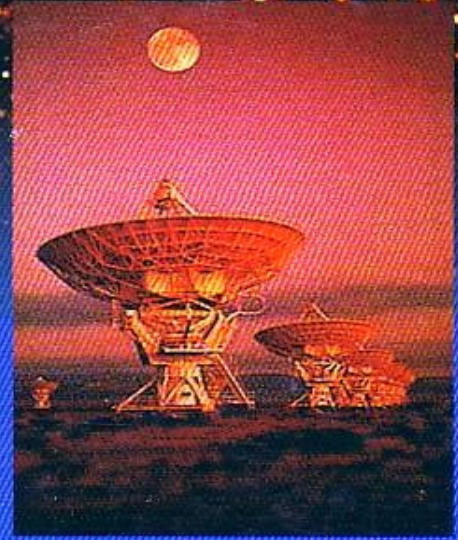


І. А. Климишин

ІСТОРІЯ

астрономії



ГОЛОВНА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника

І. А. Климишин

ІСТОРІЯ АСТРОНОМІЇ



Івано-Франківськ
2006

ББК 22.6
К 49
УДК 52(091)

Климишин І. А. **Історія астрономії**. 2-ге, виправлене видання.–
Івано-Франківськ: “Гостинець”, 2006. – 652 с.

Огляд розвитку уявлень про навколишній Всесвіт та збагачення й удосконалення методів його дослідження з найдавніших часів до середини 90-х років ХХ ст.

Рецензенти: директор АО КДУ професор
Тельнюк-Адамчук В. В.
ст. науковий співробітник ГАО НАН України
Корсунь А. О.

За редакційної участі М. Я. Орлова.

ISBN 966-8207-56-4

© *Климишин І. А., 2006*
© *Гостинець, 2006*

ЗМІСТ

Передмова	7
ВСТУП	11
§ 1. Першою була астрономія	11
§ 2. Етапи розвитку астрономії. Її найголовніші результати	14
§ 3. Зв'язок астрономії з філософією та іншими науками	17
§ 4. Астрономія, астрологія та релігія.....	22
§ 5. Про закономірність і випадковість відкриттів	26
§ 6. Основи теорії календаря.....	31
§ 7. Особливості видимого руху Сонця, Місяця і планет	36
§ 8. Сузір'я – на небі і в атласах	41
§ 9. Про назви зір, планет і супутників	47
§ 10. Принципи найменування деталей поверхні Місяця, Марса та Венери	55
ЧАСТИНА І. ЗАРОДЖЕННЯ АСТРОНОМІЇ.....	60
<i>Розділ 1. ЕЛЕМЕНТИ ПАЛЕОАСТРОНОМІЇ.....</i>	<i>61</i>
§ 1. Найдавніші археологічні пам'ятники.....	61
§ 2. Стоунхендж – обсерваторія кам'яного віку.....	65
§ 3. Про коло Зодіаку	68
<i>Розділ 2. АСТРОНОМІЯ В ДАВНЬОМУ ЄГИПТІ</i>	<i>71</i>
§ 1. Єгипетська астрогнозія	72
§ 2. Структура єгипетських календарів	75
§ 3. Єгипетські декани	81
<i>Розділ 3. ВАВИЛОНСЬКА АСТРОНОМІЯ.....</i>	<i>86</i>
§ 1. Попередні зауваження.....	86
§ 2. Загальний аналіз результатів	89
§ 3. Теорія руху Місяця.....	92
§ 4. Теорія руху планет	96
<i>Розділ 4. АСТРОНОМІЯ В КРАЇНАХ СХОДУ І НОВОГО СВІТУ</i>	<i>101</i>
§ 1. Спостереження зоряного неба в Китаї	102
§ 2. Давньокитайські календарі.....	105
§ 3. Астрономія Давньої Індії і Нового Світу	108

<i>Розділ 5. ДАВНЬОГРЕЦЬКА АСТРОНОМІЯ</i>	113
§ 1. Світ давньогрецьких філософів	115
§ 2. Піфагорійське «небо із чисел»	122
§ 3. Моделі Платона й Евдокса	124
§ 4. Система світу Аристотеля	130
ЧАСТИНА II. ТРИУМФ І ПАДІННЯ ГЕОЦЕНТРИЗМУ	136
<i>Розділ 6. АСТРОНОМІЯ ЕПОХИ ЕЛЛІНІЗМУ</i>	137
§ 1. Перші вимірювання розмірів і відстаней до Місяця і Сонця	138
§ 2. Гео-геліоцентрична система Архімеда	142
§ 3. Гіппарх – фундатор астрономії	148
<i>Розділ 7. ГЕОЦЕНТРИЧНА МОДЕЛЬ ПТОЛЕМЕЯ</i>	158
§ 1. Про зміст і достовірність даних «Альмагеста»	159
§ 2. Теорія руху Сонця і Місяця	167
§ 3. Рух планет в моделі Птолемея	171
§ 4. Інструменти часів Птолемея. Методика спостережень	177
<i>Розділ 8. КОНТРАСТИ СЕРЕДНЬОВІЧЧЯ</i>	182
§ 1. Візантійська космологія	183
§ 2. Астрономія в Індії та Китаї	189
§ 3. Астрономія країн ісламу	193
§ 4. Астрономія у Західній Європі	206
<i>Розділ 9. ПЕРЕДДЕНЬ НОВОЇ ЕПОХИ</i>	211
§ 1. Перші здобутки європейців	212
§ 2. Астрономія Пурбаха і Регіомонтана	215
§ 3. Провісники нового світогляду	218
ЧАСТИНА III. СТАНОВЛЕННЯ ГЕЛІОЦЕНТРИЗМУ	224
<i>Розділ 10. «ВІН ЗРУШИВ ЗЕМЛЮ»: КОПЕРНИК</i>	225
§ 1. Найголовніші етапи життя	227
§ 2. «Про обертання VI книг»	234
§ 3. Не «зручність», а реальність	244
§ 4. Трагедія Джордано Бруно	245
<i>Розділ 11. ЩАСЛИВИЙ ТАНДЕМ: БРАГЕ – КЕПЛЕР</i>	254
§ 1. Браге – «фенікс астрономії»	255

§ 2. Кеплера многотрудне життя	263
§ 3. Оновлена Кеплером астрономія	267
<i>Розділ 12. «ЗЕМЛЯ ТАКИ РУХАЄТЬСЯ»: ГАЛІЛЕЙ</i>	<i>280</i>
§ 1. Галілей і його «Зоряний вісник»	280
§ 2. Виступ проти коперніканства	286
§ 3. Між двома процесами	296
§ 4. «Вона таки рухається»	304
<i>Розділ 13. ВЕЛИКЕ ВТАЄМНИЧЕННЯ: НЬЮТОН</i>	<i>309</i>
§ 1. Астрономія середини XVII ст.	310
§ 2. «Звелів Бог – і заявився Ньютон»	320
§ 3. «Математичні основи природознавства»	328
ЧАСТИНА IV. ВІД НЬЮТОНА ДО ЕЙНШТЕЙНА	338
<i>Розділ 14. «ВИМІРЯТИ І ЗВАЖИТИ»: АСТРОМЕТРІЯ</i>	<i>339</i>
§ 1. Розбудова астрономічних обсерваторій	339
§ 2. Результати точних спостережень	348
§ 3. Декілька цікавих відкриттів	356
<i>Розділ 15. ПРОБЛЕМИ НЕБЕСНОЇ МЕХАНІКИ</i>	<i>363</i>
§ 1. Задача декількох тіл	364
§ 2. Особливості руху Місяця	371
§ 3. Рух планет, відкриття Нептуна і Плутона	381
<i>Розділ 16. ПЕРШІ КРОКИ АСТРОФІЗИКИ</i>	<i>390</i>
§ 1. Зорі – змінні, подвійні, звичайні	392
§ 2. Сонце: загадки будови і джерел енергії	402
§ 3. Проблеми еволюції планет і зір	407
<i>Розділ 17. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОЧНИХ ШЛЯХІВ</i>	<i>417</i>
§ 1. Початки зоряної астрономії	418
§ 2. Близькі туманності й далекі галактики	425
§ 3. Космологічні парадокси	435
ЧАСТИНА V. ГОРИЗОНТИ XX СТОЛІТТЯ	441
<i>Розділ 18. ЗБАГАЧЕННЯ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ</i>	<i>442</i>
§ 1. Оптична астрономія	444
§ 2. Наземні позаоптичні методи	452
§ 3. Позаатмосферна астрономія	463

<i>Розділ 19. ФІЗИКА ЗІР</i>	474
§ 1 Атмосфери і надра зір	476
§ 2. Нестационарні зорі	488
§ 3. Еволюція зір	502
<i>Розділ 20. НАША ГАЛАКТИКА</i>	514
§ 1. Будова Галактики. Населення і підсистеми	515
§ 2. Міжзоряне середовище	527
§ 3. Спіральна структура Галактики	535
<i>Розділ 21. АСТРОНОМІЯ ГАЛАКТИК</i>	543
§ 1. Поновне відкриття галактик. Червоне зміщення.....	544
§ 2. Галактики: фізика, розподіл у просторі	554
§ 3. Активні галактики і квазари	563
<i>Розділ 22. ВСЕСВІТ ЯК ЦІЛЕ</i>	572
§ 1. Космологічні моделі	573
§ 2. Космологія: проблеми 70-х років	583
§ 3. Еволюція Всесвіту: сценарій 80-х років	593
ПІСЛЯМОВА	602
<i>Додатки</i>	606
<i>Література</i>	635
<i>Іменний покажчик</i>	639

ПЕРЕДМОВА

Просуваючись уперед, наука безперестанно перекреслює саму себе.

Віктор Гюго

Історія кожної науки цікава і повчальна, а знання її, безперечно, є доцільним. Викладач, використовуючи елементи історії, може перетворити майже кожну лекцію в проблемну. Дослідник, навчений досвідом давно померлих своїх попередників, легше знайде підхід до важкої задачі, а коли ні, то йому, знов ж таки, легше буде знести невдачу в пошуку її розв'язку. Усі ми, зокрема ті, хто ще навчається, чи просто аматори астрономії, знайомлячись із тим, як, долаючи труднощі, людина «підіймалась до зір», маємо почуття гордості. В нас кріпне віра в те, що і не з'ясовані ще проблеми знайдуть своїх Коперників і Ньютонів.

До того ж, якби й справді, як це твердив В. Гюго, наука в своєму розвитку просто перекреслювала саму себе, то вся її історія звелася б до хронологічних таблиць, в яких вказувалося б, коли ту чи іншу гіпотезу (здебільшого, примітивну чи й зовсім безглузду) було змінено іншою (очевидно, такої ж вартості). А в цьому випадку історія навряд чи справді була б цікавою та повчальною. Насправді ж, і це також вселяє у нас подив і гордість, у процесі розвитку науки відбувається поглиблення знань про об'єкт дослідження, як також – встановлення меж, в яких діє той чи інший закон. Припущення ж типу «поверхня Сонця заселена розумними істотами» (так думали І. Ньютон і В. Гершель), є швидше поодинокими курйозами, ніж закономірністю у розвитку науки.

Якщо ж говорити конкретно про астрономію, то тут вражаючою є несумірність об'єкта досліджень – Всесвіту з його справді незліченною кількістю зір і галактик – і дуже обмеженим (не лише в минулому, а й тепер) числом дослідників. Так, наприкінці ХХ ст. загальна у світі кількість спеціалістів, що професійно займалися астрономічними дослідженнями, не перевищувала 25 000 (з них у США близько 5000, в Росії – 2000, в Україні менше 400 чоловік), а це в десятки разів менше, ніж їх налічується в інших галузях природознавства (фізика, біологія тощо). Однак це невелике плем'я учених-дослідників щороку публікує не менше 50 000 статей (у 1000 журналах світу) і декілька сотень книг; конкретно з історії астрономії – до 500 статей і 10–15 книг щороку. З 1970 р. історики астрономії мають свій часопис «Journal for the History of Astronomy». Доповіді з питань історії астрономії регулярно заслуховуються на регіональних симпозіумах і Міжнародних конгресах з історії науки, одним з організаторів яких є Комісія з історії астрономії (№ 41) Міжнародного Астрономічного Союзу (МАС). Під егідою МАС завершується видання багатотомної «Історії астрономії», як також «Енциклопедії історії астрономії».

З жалем, однак, доводиться констатувати, що читач в Україні не міг і все ще не може використати усі ці здобутки світової науки для своїх потреб. Ми, астрономи, в масштабах колишнього СРСР довгий час були змушені обмежуватися перекладами книг А. Беррі (видання 1946 р., переклад з публікації 1898 р.) та А. Паннекука (1966 р., переклад з видання 1961 р.), а про розвиток астрономії в останні десятиріччя черпати інформацію з науково-популярних (безперечно, талановито написаних) книг В. Бронштена, Ю. Білого, Ю. Єфремова та інших (детальніший список і вихідні дані книг подано у списку літератури). «Историю астрономии» А. Й. Єремєєвої та Ф. О. Цицина (в-во МДУ, 1989 р.) скоріше можна розглядати як методичний вступ до історії цієї галузі науки, про що свідчить і її підзаголовок «Основні етапи розвитку астрономічної картини світу».

Як викладач астрономії спочатку у Львівському, а згодом у Прикарпатському університеті, автор цих рядків на практиці переконався у справедливості таких слів Джеймса Максвелла: «Наука завжди засвоюється повніше, якщо вона розглядається в стані її

становлення». Тому в міру своїх сил і можливостей я докладав зусиль до створення принаймні науково-популярної книги з історії астрономії, яка б адресувалася найширшому колу читачів. Так з'явилися «Астрономія вчора й сьогодні» (К., 1976 р., російське видання там же 1977 р.), «Нариси з історії астрономії» (К., 1987 р.) та «Открытие Вселенной» (М., 1987 р.). Їх і було взято за основу при підготовці цієї «Історії астрономії».

Як і раніше, там, де лише це було можливе, ми намагалися не просто констатувати, *що* було зроблено тим чи іншим ученим, а й показати, *в який спосіб* йому вдалося розв'язати цю проблему. А беручи до уваги відсутність у нас публікацій оригінальних праць класиків астрономії (хоча б у вигляді короткої «Хрестоматії з астрономії»), ми намагалися якомога більше ілюструвати це словами самих учених. Бо ж голоси тих, хто давно вже відійшов від нас, є особливо виразними...

Роботу над цією книгою (на замовлення Головної Астрономічної обсерваторії НАН України) автор розпочав у червні 1993 р., в момент найповнішого розвалу видавничої справи в Україні і, отже, найменшої надії на її швидку публікацію. До того ж якраз тоді значно погіршилися можливості отримання іноземної літератури, навіть найменшої інформації про неї. Були й інші труднощі (як ось, автор залишив на батьківському хуторі чималу добірку ксерокопій та конспектів нових статей, а взимку мисливці «відвідали будинок» і, зокрема, щоб зігрітися, розпалили з них вогнище). Автор, однак, надіється, що й у такому, може – недосконалому, вигляді ця книга буде корисною і студентів вузу (а йому вона адресується в першу чергу), і молодому дослідникові у тій чи іншій галузі астрономії, і викладачеві школи, гімназії чи ліцею, як також – найширшому колу аматорів астрономії.

Незайвим тут буде підкреслити: хоча в Додатку I вказано найвищезначніші досягнення астрономії до 2000 р., то все ж їхній аналіз доведено орієнтовно лише до 1996 р. І причини цього значно серйозніші, ніж згадані вище (брак інформації чи безпосередніх контактів). В 90-х роках ХХ ст. астрономи, образно кажучи, живуть передчуттями принципово нових технологічних розв'язків давніх проблем. Для них 8-метровий телескоп за межами земної атмосфери, а на

поверхні планети – до 100 метрів, як виглядає, – це не безнадійний витвір уяви. І писати про ці грандіозні плани та їх реалізацію зможуть вже представники наступного покоління істориків науки про небо...

Автор вважає своїм приємним обов'язком згадати тут про велику (як моральну, так і матеріальну) допомогу, що її він отримав з боку ГАО НАН України. Згадати зі щирою вдячністю зацікавленість її директора академіка Я. С. Яцківа в тому, щоб ця книга була написана і побачила світ. Згадати допомогу щирого московського друга Д. К. Надьожина, який, ведучи багатомісячну наукову роботу в м. Базель (Швейцарія), переслав автору сім «ємнісних» бандеролей – ксерокопій сторінок найновіших наукових публікацій (що, «на противагу мисливцям», дало змогу своєчасно завершити роботу над рукописом).

Він щиро вдячний рецензентам – А. О. Корсунь і В. В. Тельнюку-Адамчукові та науковому редактору книги М. Я. Орлову, зауваження яких допомогли усунути з рукопису ряд описок і промахів.

Окремо – щира подяка А. О. Корсунь, Ю. Є. Кроту і Л. М. Свачій за істотну допомогу у виправленні декількох десятків технічних помилок, які вкралися у видання 2000 року.

Автор висловлює найщирішу подяку Владикам Софрону Мудрому та Іриней Білику, о. Іванові Бойку і групі священників (в минулому – студентів Духовного інституту) Івано-Франківської єпархії УГКЦ, а особливо мерові м. Івано-Франківська п. Зіновію Шкутяку за спонсорську допомогу, завдяки якій в цілому стало можливим як перше, так і друге (до того ж і в електронному варіанті) видання цієї книги.

17 березня 2006 р.

ВСТУП

Зорі шлють нам не лише видиме і грубо відчутне світло, що діє на наше тілесне око; від них виходить також інше, тонше світло, яке прояснює наш розум... Це астрономія передусім відкрила нам існування законів..., саме астрономія надала нашій душі здатність розуміти природу.

Анрі Пуанкаре

Образно кажучи, повна відсутність знань про закони світобудови – це ніч, це непроглядна темрява в історії людства. Але після ночі неминуче настає світанок... Світанок же – це відступ темряви, страху й помилок, це наближення світла й пізнання істини, це наближення дня з його чудовими можливостями творчого життя.

§ 1. ПЕРШОЮ БУЛА АСТРОНОМІЯ

В різні часи в тих чи інших закутках нашої планети виникали могутні держави, які часто ставали яскравими вогнищами культури, вогнищами цивілізації, здатної не лише створити певні матеріальні й духовні цінності, а й певним чином увіковічнити їх, зокрема, написами й малюнками в гробницях, на кам'яних стовпах (стелах), глиняних табличках і папірусних та шкіряних сувоях. За останні 200 років історики й археологи доклали багатьох зусиль, щоб відшукати сліди давно забутих народів, вивчити особливості їх побуту, відновити втрачені сторінки їх історії. Світ зі здивуванням дізнався про високі досягнення науки і культури шумерів, аккадців, асирійців, вавилонян і персів, давніх китайців та єгиптян, греків та інків, ацтеків і майя. Про це давно забутими мовами розповіли вченим клинописні знаки й ієрогліфи (рис. В. 1).

Знайомство з матеріальними й духовними здобутками давніх народів дає підставу стверджувати, що саме астрономія як складова частина науки – упорядкованої системи понять про явища і закони навколишнього світу – мала для їхнього життя найважливіше значення. І що саме астрономія – наука про закони руху, будови й розвитку небесних тіл та їх систем – досягла неабияких результатів вже тоді, коли інші галузі науки про природу, як ось фізика, хімія чи

біологія, перебували у справді зародковому стані. І на це було декілька причин.

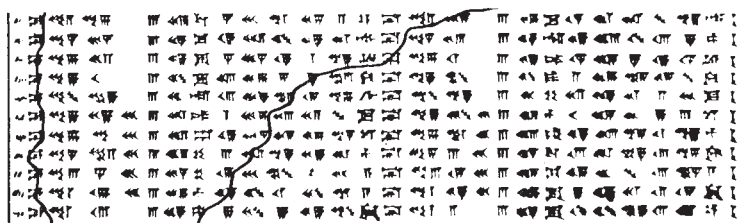


Рис. В. 1. Запис положень Юпітера, зроблений вавилонськими астрономами.

Перша з них – це потреби практичного життя людей. Бо ж, зокрема, весь річний цикл землеробських народів пов'язаний з ритмічною зміною пір року. І людям потрібне було вміння лічби окремих відрізків часу, щоб передбачувати, наприклад, розливи рік (Нілу в Єгипті, Тигру та Євфрату в Месопотамії), моментів початку польових робіт. І давні люди навчилися зіставляти періодичні зміни природних явищ – прихід весни, час збирання врожаю, початок осінніх холодів – зі змінами вигляду зоряного неба, з особливими появами на небі окремих зір (їх схід уранці безпосередньо перед сходом Сонця або ж схід увечері після заходу Сонця і т. д.), з видимим рухом Сонця на небі. За положенням зір увечері і вранці мореплавці визначали найбезпечніший час виходу у відкрите море.

Упорядкування цих знань дало давнім людям змогу виробити певні системи лічби часу – місячні, сонячні та місячно-сонячні календарі. При цьому тривалість середніх календарних одиниць лічби часу – місяця і року – люди намагалися зробити якомога відповіднішими тривалості їх астрономічних прообразів: відповідно *синодичного місяця* ($S = 29,53059$ доби) і *тропічного року* ($T_r = 365,24220$ доби). Звідси – уважні спостереження за особливостями руху Місяця і Сонця на небі з метою якомога точнішого визначення тривалості згаданих астрономічних прообразів календарних одиниць лічби часу. Ці спостереження врешті-решт привели до висновку про нерівномірність руху як Сонця, так і Місяця, і, зокрема, до моделювання руху Сонця (Гіппарх, II ст. до н. е.) за допомогою ексцентричного кола, згодом – моделювання видимого руху планет системами епіцикл – деферент (Птолемеї, II ст. н. е.).

Не менш важливою була необхідність орієнтуватися у просторі. Насамперед, спостерігаючи вранці схід Сонця, а ввечері його захід, давні люди змогли виділити один з головних напрямів для орієнтації у просторі – напрям «схід – захід». Не випадково саме слово «орієнтуватися» походить від латинського «орієнс», що означає «схід», а також «схід Сонця». Для встановлення напрямку вночі люди запам'ятовували розташування на небі окремих груп зір – *сузір'їв*, з'ясовували умови їх видимості на небосхилі упродовж року. Варте уваги, скажімо, й те, що у фінікійців, які здійснювали тривалі морські подорожі навколо Африки, *сузір'я Малої Ведмедиці*, що вказувало напрям на північ, мало назву «сузір'я, яке говорить», а також – «спасіння».

Другим стимулом для проведення тривалих астрономічних спостережень, зокрема для вивчення особливостей руху «блукаючих світил» планет – на тлі нерухомих зір і пізнішого моделювання цього руху (зокрема Птолемеєм) була спроба знайти у змінах (і повтореннях) положень планет серед зір якісь «вказівки» на долю держав та їх правителів, на долю окремих людей. Про це свідчать численні асирійські та вавилонські тексти типу «Якщо зоря Іштар (Венера) стане слабкою та зникне в місяці абу, то в Еламі буде кровопролиття». Про це, однак, мова йтиме далі.

Третім (і, може, найважливішим?) стимулом у розвитку астрономії було намагання людської думки проникнути в суть речей, встановити справжнє положення Землі (і людини) у Всесвіті, відкрити закони, які керують рухом небесних тіл, а згодом – їх будовою і розвитком. Чи не тому одним із елементів культури майже всіх давніх народів були міфи про походження світу та найбільш наївні уявлення про його будову. Можна й сказати так: прислухаючись до якогось слабкого внутрішнього голосу, піддавшись імпульсам свого духа, давня людина звела свій погляд вгору передовсім у пошуку відповіді на питання «чим є цей навколишній світ і яке місце займає в ньому Земля?», щоб таким чином отримати відповідь на інше, куди важливіше, болючіше для неї питання: «хто вона на цій Землі, в чому її завдання і покликання?»

Якраз перелічені тут стимули і спричинилися до становлення астрономії як науки задовго до нашої ери. Можна зауважити, зокрема, що в Давній Греції і Римі успішно використовували

найпростіші машини для підймання і переміщення вантажів, тут з часів Архімеда були вже відомі закони статички і гідростатички. Але найпростіша задача про вільне падіння тіл античними вченими була розв'язана неправильно – услід за Аристотелем і аж до праць Галілея приймалося, нібито швидкість падіння тіла пропорційна його масі. В цілому успіхи фізики до початку нашої ери були дуже скромними. Тим часом у вивченні особливостей руху планет і в моделюванні цього руху, у розробці методів обчислень їх положень на небі на десятки років вперед і назад досягнуто неабиякого прогресу.

Щоправда, важко отримати відповідь на питання, де і коли зародилася астрономія. Очевидно, – скрізь, у Межиріччі, в Єгипті, Китаї, в кожному закутку нашої планети, як тільки людина, усвідомивши себе, організовувала своє життя у певній спільноті. І, напевне, – набагато раніше, ніж три чи навіть чотири тисячі років до н. е. Однак найдавніші писемні свідчення «регулярної астрономічної діяльності» виявлено у вавилонських клинописних текстах, найбільш ранні з яких датують рубежем II і I тисячоліть до н. е. Текстів цих багато, і більшість з них дотепер не прочитана і не увійшла в науковий кругообіг. Серед найвідоміших – текст «Мул Апін», його наявний варіант датують бл. 940 р. до н. е., однак опис у цій своєрідній енциклопедії астрономічних знань умов видимості планет у сузір'ях дає підстави стверджувати, що взяті за основу тексту спостереження розпочато близько 2300 р. до н. е.

§ 2. ЕТАПИ РОЗВИТКУ АСТРОНОМІЇ. ЇЇ НАЙГОЛОВНІШІ РЕЗУЛЬТАТИ

Оглядаючись на проміжок часу близько 6000 років, констатуємо, що просування вперед у розумінні суті явищ природи відбувалося дуже повільно. Окремі геніальні здогади (як ось, що Земля рухається у просторі, що фізична природа Землі та небесних тіл однакова) довго не були прийняті, бо не підтверджувалися тогочасними спостереженнями, можливості яких були вкрай обмеженими. А тим часом відповіді на питання про будову й походження навколишнього світу, про місце Землі в ньому давні люди давали на підставі своїх безпосередніх вражень, своїх відчуттів.

Так було складено уявлення про те, що Земля є нерухомою. Люди спостерігали, як Сонце і Місяць, увесь небосхил обертаються навколо неї, і сприймали це як цілком очевидний факт. Довгий час вони

не мали також підстав сумніватися в тому, що Земля плоска. І, на-
решті, логічно було припустити, що вона – центр усього світу.

Тривалий час досягнення науки були надбанням небагатьох, най-
частіше жерців. Проте окремі астрономічні знання, зокрема ті, що
стосувалися лічби часу, необхідні були всім, і люди турбувалися про
те, щоб передати їх наступним поколінням. Імовірно тому при роз-
копках знаходять так багато реліктів, на яких закарбовано кален-
дарні символи та ідеї (знаки Сонця, дванадцять – за числом місяців
у році – орнаментальних одиниць тощо). Певні відомості щодо
уявлень давніх народів про Всесвіт, небесні світила та спостережувані
небесні явища отримують, вивчаючи фольклор – пісні, казки, при-
казки і т. д. Тут дуже часто небесні світила персоніфіковані,
зображені антропоморфними істотами.

Поглиблення знань про закони світобудови відбувалося завдяки
розвиткові відповідної матеріальної бази – будівництву того, що
тепер ми звемо астрономічними обсерваторіями. Розпочалося все з
конструювання найпростіших кутовимірних приладів. Паралельно
учені розробляли методи аналізу отриманих результатів: матема-
тичні (спочатку найпростіші геометричні) прийоми розв’язування
певних задач. Не випадково на дверях Академії Платона було вста-
новлено напис: «Нехай не входить ніхто, хто не знає геометрії». Бо від
Платона (IV ст. до н. е.) і до Ньютона (XVII ст. н. е.) геометричні
прийоми були єдиними, що допомагали астрономам збагнути
принаймні те, як ставити питання про закони світобудови. До того
ж йдеться про найпростіші основи геометрії. Адже поняття синуса
сформувався в часи Гіппарха, тангенса – у X ст. н. е. Поняття десят-
кового дробу існує з 1585 р. (до цього часу використовували 60-кову
систему числення або ж просто числові величини зводили до порів-
няння відношень цілих чисел, наприклад, як це в Аристарха Самось-
кого, «діаметр Сонця до діаметра Землі має відношення більше, ніж
19 до 3, але менше, ніж 43 до 6»). Лише в 1614 р. заявили таблиці
логарифмів Дж. Непера, лише з середини XX ст. маємо швидкодіючі
електронно-обчислювальні машини.

І все ж, «продираючись через терня до зір» (Сенека), астрономам
вдалося здійснити одне за одним ось ці важливі відкриття:

– що Земля є велетенською кулею, а не островом, який плаває у
Світовому океані чи підтримується на трьох китах або слонах,

– що Земля є «усього лише» планетою, яка разом з іншими планетами обертається навколо Сонця і яка, отже, не є центром світобудови,

– що над головами людей простягається неозора безодня, а не кришталеве склепіння, до якого нібито «підвішені» зорі,

– що Сонце є одною з мільярдів зір і що всі вони складаються з однакових цеглинок – хімічних елементів – і черпають енергію з одних і тих же джерел,

– що зорі «народжуються» і «вмирають»,

– що наше Сонце разом з іншими зорями утворює велетенську зоряну систему – Галактику, яка, однак, є лише піщинкою у Всесвіті, який розширюється,

– що за межами нашої Землі, передовсім на Сонці, трапляються явища й процеси, які впливають на життя кожного мешканця Землі (хоча й зовсім не так, як це придумали в давнину астрологи).

Будь-який поділ згаданих 6000 років розвитку астрономії на окремі проміжки часу є, очевидно, умовним. І все ж тут виділяють такі етапи чи епохи:

1) *міфологічна*, коли люди, не знаючи справжньої причини навколишніх явищ, заселявали небо і землю надприродними істотами, які нібито безперервно втручаються в їхнє життя. Тут обмежимося шумерською легендою, за якою спочатку світ існував у вигляді «первісних вод», творцями яких були боги Апсу (бог Світового океану), Мумму (бог мудрості) і Тіамат (богиня моря). Між згаданими богами-творцями та іншими розпочалася велика битва, в якій Апсу і Щумму загинули від руки бога моря й мудрості, а бог Мардук, що його боги проголосили своїм царем, переміг богиню Тіамат, розрізав її тіло на дві частини і зробив з них небо і землю. На небі він встановив Сонце, Місяць, планети і зорі, на землі – з глини, змішаної своєю кров'ю, створив людей.

2) Епоха *зародження астрономії* (IV тисячоліття до н. е. – бл. 350 р. до н. е.), упродовж якої формуються основні поняття астрономів та висловлюються перші здогади про фізичну природу навколишнього світу.

3) Епоха *геоцентризму* (орієнтовно від Аристотеля і Гіппарха до Коперника), упродовж якої досягнуто високого ступеня моделювання руху небесних світил, як він спостерігається з Землі.

4) Епоха *титанів* – Коперника, Браге, Кеплера, Галілея і Ньютона: зруйновано уявлення аристотелевої фізики, доведено принципову єдність фізичної природи планет і Землі, сформульовано основні закони динаміки, закладено фундамент небесної механіки.

5) Епоха *тріумфу теорії гравітації* (XVIII–XIX ст.) і зародження астрофізики. І, нарешті,

6) Епоха (XX ст.) *розквіту релятивістських теорій і всехвильової астрономії*, тісної співпраці астрономії з фізикою, що забезпечило з'ясування процесів, які відбуваються в атмосферах і надрах зір (зокрема, джерел енергії зір) та на початковій стадії розширення (роздування) Всесвіту.

Однак, вселяючи гордість за все досягнуте, історія астрономії вчить нас і скромності. Так, астрономи збагнули вже всю грандіозність «народження Всесвіту з мікроскопічної комірки і формування в ньому протяжних доменів з властивим кожному з них набором фізичних констант». Але водночас ми усвідомлюємо, що живемо в одному з цих доменів і що навіть про події, які відбуваються в ньому ж, але за межами горизонту (де швидкість розбігання галактик зрівнюється зі швидкістю світла) ми нічого дізнатися не можемо. Далі, в останні десятиліття було доведено, що речовина, з якої складається навколишній світ (зорі і галактики) і наявність якої ми здатні так чи інакше реєструвати, становить якихось 3%, тоді як близько 97% – це щось дотепер нез'ясоване (як мінімум це хмари нейтрино, але також це можуть бути зовсім ще невідомі форми речовини, до того ж такої, яку не в змозі – в принципі – реєструвати наші інструменти).

Сказане є ілюстрацією того, що процес пізнання триває, що картина світобудови буде й далі збагачуватися та наповнюватися новими, ще невідомими гранями. Але це водночас засвідчує нам, що наші намагання «збагнути безконечно» не є необмеженими.

§ 3. Зв'язок астрономії з філософією та іншими науками

Загально визнано, що всякому знанню передувала «чиста» міфологія, з якої із часом (в Європі, передовсім у Греції, – десь у середині 1-го тисячоліття до н. е.) викристалізувалися конкретні елементи науки і філософії. Саме філософія взяла за мету постановку, аналіз і вирішення найголовніших питань, пов'язаних із виробленням

цілісного погляду на світ і на місце людини в ньому. В наш час філософи наполягають на тому, що між двома царинами духовної діяльності людей – наукою і філософією – є дуже тісний зв'язок: «Істинна філософія – це духовна квінтесенція свого часу... Це жива душа культури, душа будь-якої науки» (Карл Маркс).

Тим часом представники науки про природу неодноразово висловлювалися дуже скептично, навіть зневажливо про філософію, заперечували її позитивний вплив на свою діяльність, заперечували необхідність існування філософії взагалі. Певною мірою це, безперечно, пов'язане з «феноменом Сократа» або ж, що те саме, «феноменом Конта». Як відомо, давньогрецький філософ Сократ (469–399 до н. е.) повчав своїх учнів: «Про все, що в тебе над головою, не розмірковуй... Усе це назавжди залишиться таємницею для смертного...» Через 2200 років ці ж слова повторив французький філософ Огюст Конт (1798–1857) в «Курсі позитивної філософії» (1835 р.): «Ми нічого не можемо дізнатися про зорі, крім того, що вони існують», а тому заняття астрономією – це «марна трата часу, яка не може дати ні корисних, ні цікавих результатів...»

Своєрідною відповіддю Конту є ось ці слова німецького фізика-теоретика, лауреата Нобелівської премії Макса Борна (1882–1970): «Я вивчав філософів усіх часів і зустрів у них багато яскравих ідей, але не зміг зауважити ніякого стабільного прогресу до глибшого пізнання чи розуміння суті речей. Наука, навпаки, наповнює мене почуттям стійкого прогресу, і я переконаний, що саме теоретична фізика є справжньою філософією... Я переконаний, що в науці немає філософського стовпового шляху з гносеологічними покажчиками. Ні, ми перебуваємо в джунглях і відшукуємо свій шлях засобом проб і помилок, будуючи свою дорогу позаду себе в міру того, як ми просунулися вперед». Або ось що сказав американський фізик-теоретик, лауреат Нобелівської премії Річард Фейнман (1918–1988): «Не може бути, щоб цей рух уперед (відкривання нових законів) тривав вічно..., нарешті настане час філософів, які увесь час стояли збоку, роблячи дурні зауваження. Тоді нам не вдасться вже відтерти їх геть, кажучи: «Якби ви мали рацію, то нам вдалося б відкрити всю решту законів». Але як тільки всі закони стануть відомими, вони зможуть придумати для них пояснення. Та ці пояснення вже не можна буде критикувати за те, що вони не дають рухатися далі». Відомо, що

видатний фізик-теоретик, лауреат Нобелівської премії Вольфганг Паулі (1900–1958) на одній з наукових конференцій, перервавши доповідача, вигукнув: «Це філософія, а отже нісенітниця».

Тут не місце для з'ясування питання про глибину знань філософів у конкретній галузі науки (а цих галузей тепер близько 4000), бо не цілком позбавленим сенсу буде твердження: «вчений знає все про ніщо, тоді як Філософ – ніщо про все». Однак, беручи до уваги «феномен Конта», перефразовуючи сказане Борном і Фейнманом, як також згадуючи сумнозвісні гоніння в колишньому СРСР на генетику, кібернетику і космологію, мусимо, мабуть, констатувати, що філософи таки не вказували своєчасно вихід з тої чи іншої (як виглядало – безвихідної) ситуації, в яку потрапляли дослідники, зокрема астрономи. Досить згадати про фотометричний і гравітаційний парадокси та проблему «теплової смерті» Всесвіту, усунення (вирішення) яких, попри тисячі сказаних філософами слів, стало можливим лише завдяки конкретним успіхам науки (тут – релятивістською космологією).

І все ж заперечувати роль філософії в духовному житті людей не слід. Бо ж це завдяки їй, її зусиллями на основі усієї сукупності даних науки створюється *наукова картина світу* – система уявлень про найзагальніші закони будови й розвитку Всесвіту та його окремих частин. І ця наукова картина світу, більшою чи меншою мірою, стає елементом світогляду кожної людини. Річ ясна, свою роль вона відіграла і в формуванні загального погляду на світ також і кожного з природодослідників.

Слабким місцем тут є те, що наукова картина світу складається внаслідок поширення досягнень науки далеко за межі можливих у кожену епоху спостережень і дослідів. Тому й настають моменти, часто навіть болісні, коли, щоб погодити її з новими науковими фактами, цю наукову картину світу необхідно ламати, замінювати іншою, яка краще узгоджується зі спостережуваними даними. В астрономів це проявлялося як звільнення від антропоцентризму – від уявлення, нібито людина перебуває у центрі світобудови. На першому етапі – переконання, що Земля плоска, змінилося уявленням про її кулястість. Далі з «центра світобудови» вона «стала» однією з планет Сонячної системи. Згодом з'ясувалося, що Сонце знаходиться не в центрі Галактики, а ледве не на її окраїні. Нарешті з'ясувалося,

що за межами нашої Галактики є незліченна кількість таких же зоряних систем.

Не так давно розповіді про зміну цих «фундаментальних засад» наукової картини світу надто драматизувалися. Як ось: «у певному смислі картина світу стає об'єктом віри, непорушним догматом», а тому нібито її зміна «набирала форми глибоких соціальних потрясінь» і з цих причин «отримала назву наукової революції» (див. цит. книгу Єрмеєвої та Цицина, с. 17).

Тим часом загальновідомо, що перехід до уявлення про кулястість Землі розтягнувся ледве не на півтори тисячі років, чи не до X ст. н. е. Якщо ж говорити про «об'єкт віри», то слід зауважити, що християнська церква ніякого догмату щодо форми Землі (як і того, рухається вона чи перебуває нерухомо в центрі світобудови) ніколи не проголошувала. Освічені діячі Церкви (як ось Василій Великий у IV ст.) без застережень дотримувалися думки про кулястість Землі. Однак хоча невігласів було багато скрізь, зокрема – і в церковних структурах, то все ж широко поширене твердження, нібито «у Флоренції у 1327 р. було спалено італійського астронома Чекко Д'Асколі за те, що той вважав Землю кулею», є, напевне, грубим перекирчуванням фактів.

Ледве чи можна вважати революцією перехід від гео- до геліоцентризму, інакше – до уявлення про рух Землі як планети у просторі. Бо ж ця думка обговорювалася вченими принаймні упродовж 200 років. Так, зокрема, в XIV ст. ректор Паризького університету Жан Буридан (бл. 1300 – бл. 1358) писав: «...є сильний сумнів у тому, чи не переміщується Земля як ціле іноді поступально...», допускаючи водночас можливість того, що Земля «звершує повний оберт з заходу на схід». Через сто років (у 1440 р.) у праці «Про вчене незнання» Микола Кузанський (1401–1464), філософ і кардинал, довгорічний дорадник папи Римського, висловився вже цілком однозначно: «Земля і справді рухається, хоча цього ми і не помічаємо». Завершився, як знаємо, перехід до геліоцентризму публікацією книги Коперника у 1543 р. і утвердився встановленням Кеплером (у 1609–1619 рр.) законів руху планет.

Так, була трагедія Джордано Бруно, була драма Галілея. Але зараз переконливо доведено (про це детальніше буде мова у відповідному місці), що і в першому, і в другому випадку насправді йшлося

не про їхні астрономічні погляди, бо трагічну роль зіграли і особисті амбіції, і політичні інтриги, що виникли навколо цих учених.

Що ж стосується зв'язку астрономії з іншими науками, то вони упродовж століть були якнайтіснішими, а їх впливи були взаємними. Астрономія, зокрема, стимулювала розвиток сферичної геометрії, методів обчислювальної математики, уявлення про можливість нерівномірного руху по еліптичній, параболічній чи гіперболічній траєкторії. Значною мірою саме завдяки астрономії у фізиці сформувалися поняття швидкості, прискорення, сили, ваги, тяжіння. Винайдення телескопа стимулювало аналіз проблем геометричної та фізичної оптики. Теоретичний фундамент класичної фізики закладений Ньютоном значною мірою завдяки його зусиллям розробити «вчення про будову системи світу» і зіставленню тяжіння Місяця до Землі з падінням тіл безпосередньо біля земною поверхні.

Саме астрономія подала докази правильності висновків загальної теорії відносності, яка стала основою сучасної космології. Без усіх досягнень фізики ХХ ст. немислимий розвиток астрофізики, теорії внутрішньої будови й еволюції зір, з'ясування процесів, які відбуваються на ранній стадії роздування Всесвіту.

Сьогодні, використовуючи сконструйовані радіоастрономами інтерферометри з наддовгою базою, геофізики вимірюють дрейф материків, швидкості яких – усього 1–3 см/рік. Порівнюючи вулканічну активність Землі, Венери, Марса, супутників планет (як ось Іо і Тритона), геологи з'ясовують загадки тектоніки. Реєстрація нейтрино, що приходять до Землі з надр Сонця, і тих, що були породжені при спалаху Наднової 1987 р., сприяє не лише уточненню уявлень про структуру і процеси, які відбуваються в надрах зір (особливо на заключних етапах їхньої еволюції), але водночас і уточненню ряду задач фізики високих енергій, зокрема уточненню ефективних перерізів конкретних ядерних реакцій. Привертає увагу і той факт, що окремі методи, розроблені астрономами для дослідження Всесвіту в певних діапазонах електромагнітних хвиль, успішно використовуються в сучасній медицині. Це передовсім техніка реєстрації слабких рентгеновських джерел – у рентгенодіагностиці. Радіоастрономічні алгоритми відновлення зображень застосовано в медичній томографії, мікрохвильові детектори – у діагностиці раку легень. Високочутливі і дрібнозернисті астрономічні фотоемальсії

вже широко використовуються в аматорській і професійній фотографії тощо.

§ 4. АСТРОНОМІЯ, АСТРОЛОГІЯ ТА РЕЛІГІЯ

Загально визнано, що від початків свого зародження астрономія значною мірою впливала і на процес становлення духовної культури людства. Бо, повторимось, з'ясовуючи природу навколишнього світу і місце Землі в ньому, людина тим самим намагалася отримати певне знання про саму себе. Осмислюючи причини спостережуваних явищ, вона створювала певні космологічні моделі, які влітала в загальну канву своїх релігійних вірувань. І, як стверджується, за логікою міфологічної свідомості акт створення світу люди певним чином повинні були повторювати як під час своїх найважливіших календарних свят, так і при похованні померлих. Цим пояснюється, зокрема, виявлене археологами орієнтування могильників, як і інших ритуальних споруд, за сторонами світу чи за положеннями небесних світил (наприклад, за азимутом точки сходу певної зорі).

Давні люди обожили небесні світила, вони поклонялися небу, Сонцю, Місяцеві і планетам, вважаючи їх, увесь Всесвіт взагалі живими істотами. Це, зокрема, знайшло своє відображення в діалозі Платона «Тімей» (30d), де сказано: «Бог створив єдину видиму живу істоту, яка вміщає всередині себе усіх тварин, що за природою споріднені їй». Як зазначив Б. Ван-дер-Варден (1991), тої ж думки дотримувалися піфагорійці, покладаючи, що внаслідок своєї божественної природи небесні тіла рухаються найдосконалішим з усіх рухів – рівномірним коловим рухом. Відгомін цих уявлень про небесні тіла як живі істоти знаходимо у працях Джордано Бруно. Так, у «Бенкеті на попелі» читаємо, що небесні світила – «це великі тварини».

Збагнувши періодичність таких наочних природних процесів як зміна дня й ночі, фаз Місяця, пів року, давні люди змогли виявити і циклічність рухів «блукаючих світил» – планет, їх повернення у те ж сузір'я через певний для кожної з планет проміжок часу. Стало ясным, що регулярна послідовність днів, місяців, сезонів і років, все сільськогосподарське життя визначається рухом великих богів Місяця і Сонця.

Третім, могутнім «богом любові» було визнано планету Венеру. І – було зроблено наступний крок – висновок про те, що ці боги

(згодом і інші боги – світила) спричиняють на Землі ті ж явища, які вже сталися в минулому, коли ці могутні світила перебували серед тих же зір неба (у тих же сузір'ях). Заради справедливості, однак, треба сказати, що в дослідників є конкретні дані щодо цього, знайдені у давній Вавилонії та Ассирії. Матеріали з інших регіонів є значно пізнішими і можуть бути своєрідним запозиченням.

В цілому, очевидно, можна стверджувати, що релігія давніх людей була *релігією астральною*: головними об'єктами поклоніння були небесні світила. Найближчі приклади маємо у свої вітчизняній історії. В Іпатіївському літописі читаємо: «І після (Сварога) царював син його іменем Сонце, що його нарекли Даждьбог... Сонце-Цар, син Сварога, був бо сильним мужем». Ці слова мають глибокий зміст, адже вони фіксують перехід від поклоніння богам неба Сварогові (і богині-матері Сирій Землі) до вшановування найвизначнішого небесного світила – Сонця.

Водночас, у всіх регіонах і в різний час, відбувалося повільне усвідомлення того, що небесні світила самі собою не є богами, а нібито лише провісниками їхньої волі.

У ті ж далекі часи, принаймні близько 3000 р. до н. е., зародилася й астрологія як намагання за положенням світил на небі передбачити погоду й урожаї, спокій для держави чи війну, як і долю правителя держави. Найдавнішим зі знайдених (датується бл. 2300 р. до н. е.) документів такого типу є віщування, за яким «Коли Венера з'являється на сході у місяці айяру і Великі та Малі Близнята оточують її.., то цар Еламу захворіє і помре». Загалом же зі знайдених в архіві бібліотеки Ашшурбанапала (658–626 до н. е.) матеріалів видно, що принаймні одна, складена в другому тисячолітті до н. е., серія передбачень «Енума Ану Енліль», мала принаймні 70 табличок, на яких було близько 7000 віщувальних. І коли, скажімо, ассирійський цар хотів дізнатися, чи було певне знамення сприятливим чи ні, то царський астролог звертався до давньої серії передбачень і з'ясував, наскільки, як і чому їх треба «виправити» для (тепер вже його) прогнозу. Упродовж близько 2000-літньої історії взаємовідносини правителів і їхніх придворних астрологів були різними – від повної довіри до «магів» до їх нещадного переслідування й убивств.

Так, зокрема, близько 300 р. до н. е. астрологія почала свій тріумфальний похід в античному світі, зокрема в Єгипті. У 139 р. до н. е. вона

мала вже так багато прихильників у Римі, що знадобився едикт, щоб вигнати астрологів з Рима... Вчення про неминучість долі та вічну повторюваність усіх подій набуло там характеру манії.

Попри все астрологія «удосконалювалася» (від примітивної зодіакальної стався перехід до гороскопної), і її позиції в суспільствах були (і є тепер) досить міцними. В давніші часи тому, що, як зазначив Б. Ван-дер-Варден (1991), фундаментальною ідеєю астрології є релігійна ідея. Бо ж тоді покладалося, що зорі (зокрема «блукуючі світила») впливають на долі людей, оскільки вони є могутніми богами. Тепер же тому, що психологічною потребою людини (і таки одною з найістотніших) є певне планування її життя принаймні на найближчий час, а, отже, бажання знати наперед причини (чи принаймні моменти) її можливих невдач, як і успіхів. І лише на вищому рівні усвідомлення свого зв'язку з Творцем людина здатна відмовитися від цієї ілюзії – дізнатися про свою долю за положенням планет і зір на небосхилі (нині знаємо, то це якраз ілюзія, обман і самообман).

Астрономія є складовою частиною *науки* – упорядкованої системи понять і знання про явища і закони навколишнього світу. Але це не просто перелік фактів, а й їхнє пояснення, осмислення і на цій підставі здатність до передбачення нових явищ і подій. Вона, як і наука про природу взагалі, з'ясовує *як* побудований навколишній світ. Однак вона нічого не в змозі сказати людині про те, в чому сенс її, людини, життя.

На це питання відповідь давала (і дає) людям релігія.

Історія релігії тісно переплетена з астрономічними поглядами на світобудову. Одним з прикладів може бути уявлення про випробування вогнем усієї людської спільноти. Бо ж, як сказав, зокрема, Геракліт Ефеський бл. 500 р. «вогонь при своєму поширенні буде судити й осудить всі речі». Це знаходимо і в Соборному посланні ап. Петра: «...а земля та діла, що на ній, погорять» (2 Пт. 3:10).

Спостерігаючи (і співпереживаючи в буквальному розумінні слова) повторення низки природних процесів – наставання нового дня після темряви ночі, чергову появу серпа Місяця на вечірньому небі, прихід весни після холодної зими, як також проходження планет через ті ж сузір'я – давні люди сприйняли це за доказ того, що й у їхньому суспільному житті все так же повторюється через певний проміжок часу, через, як його було названо, «Великий рік».

Піфагорієць Гіппас твердив, що цей «Рік» рівний» 59 років. А це – час, за який планети Юпітер і Сатурн разом повертаються у те ж сузір'я. Однак за іншими джерелами, «Великий рік» мав би тривати 10 800 чи 18 000 років.

Уявлення про циклічність розвитку людського суспільства («по спіралі») подекуди зберігається і тепер. Тимчасом іудео-християнська традиція говорить не про цикли, а про «стрілу часу» (коротка формула для окремої людини така: «народження, життя, смерть і – суд»).

Неабияким досягненням вселюдської культури було абстрагування поняття Бога – Творця світу, його відокремлення від конкретних небесних світил чи природних стихій, формування уявлення про Розум, який «пронизує швидкими думками увесь космос», уявлення про безсмертність людської душі. Щоправда, знову ж таки під впливом переконання про циклічність усіх процесів у природі з'явилося уявлення про «блукання душі від одного тіла до іншого для очищення від давнього гріха» (метемпсихоз, чи реінкарнація). І важко сподіватися, що це, по суті, деморалізує (з точки зору удосконалення всіх граней суспільного життя) уявлення зникне навіть у наш час. За ним людина «має час» і не обов'язково «саме тепер» повинна самовдосконалюватися і якнайповніше реалізовувати свої природні позитивні якості та можливості; принаймні так це виглядає для тих, хто сприймає ці ідеї поверхово, а таких – більшість...

Гортаючи сторінки історії астрономії, не можемо не звернути увагу на той очевидний факт, що чи не більшість її найвидатніших творців були людьми глибоко віруючими у Всемогутнього Бога – Творця світу. Це видно хоча б із таких висловлювань:

Микола Коперник: «Бо хто може споглядати дивний порядок Всесвіту, керованого Богом, без пориву до споглядання понад усе Самого Творця...»

Йоганн Кеплер: «...великим є Бог, велика його сила, безконечна його мудрість».

Галілео Галілей: «Прогрес астрономії помножує в наших душах хвалу Богові».

Ісаак Ньютон: «Таке витончене поєднання Сонця, планет і комет не могло статися інакше, як за наміром і владою могутньої та премудрої істоти...»

Вільям Гершель: «Чим більше розширюється поле науки, тим численнішими і переконливішими стають докази того, що існує творча і могутня Мудрість».

Артур Еддінгтон: «Захоплення величчю творіння, збагнення мистецтва, туга за Богом возвишують душу, яка шукає в цьому втамування глибокої потреби своєї природи... Сучасна фізика найочевиднішим чином приводить нас до Бога».

Мусимо визнати: як би не розширювався горизонт науки (тут – астрономії), питання про Творця світу і надалі залишається поза цим горизонтом. Тому навіть видатний вчений може визнавати існування Бога – Творця, не вступаючи в суперечність ні зі своїми дослідженнями, ні з результатами науки в цілому.

Отже, як бачимо, питання про взаємозв'язок науки і релігії є дуже непростим. Кожна природнича наука (серед них – і астрономія) займається певними конкретними фактами, їх аналізом, пошуком взаємозв'язків між ними. І доки вона цікавиться саме цими фактами, вона ніде не стикається з релігією. Але як тільки вчений починає роздумувати про джерело існування певних речей, про «найвищі причини буття» (образно кажучи, з'ясувавши питання про полотно і фарби картини, звертається до питання про саму появу цієї картини, а отже до особи художника), він неминуче мусить дати собі відповідь на питання: чи цей світ «існує сам по собі» і то неминуче «вічно», чи він, цей світ, створений Творцем (і, очевидно, з певним задумом і метою).

Тому й, повторимо це ще раз, не є дивним те, що у всі часи більшість видатних вчених були людьми глибоко релігійними.

§ 5. ПРО ЗАКОНОМІРНІСТЬ І ВИПАДКОВІСТЬ ВІДКРИТТІВ

Як було згадано у Передмові, число спеціалістів-астрономів у світі і в наш час є відносно дуже малим (двісті – триста років тому і ще раніше це були буквально одиниці). Однак телескопи, що їх вони використовують у своїй роботі, є дорогими. Наприклад, програма будівництва нових інструментів в 1991–2000 рр. у США була оцінена в 3 млрд. доларів (конкретно, вартість 8-метрового телескопа – 50 млн.).

Тому в наш час питання прогнозування наукових досліджень (і відповідно виготовлення необхідних для цього інструментів) не

може не бути справою загальнодержавною. І в зв'язку з цим привертає увагу питання про співвідношення планування науки (тут – астрономії) і випадковості відкриття об'єктів чи процесів, які надалі могли стати навіть визначальними у розвитку науки. Тож хоча ніякої закономірності тут немає, то все ж можна стверджувати: чималу кількість надзвичайно важливих відкриттів було зроблено випадково. Це проте не означає, що для підготовки і в процесі здійснення конкретного відкриття не було затрачено певних зусиль (Галілеєві, скажімо, для випадкового відкриття супутників Юпітера необхідно було виготовити телескоп!). Нижче наведено декілька прикладів відкриттів у ситуації, коли дослідник проводив спостереження з метою реалізації цілком іншої, наперед обдуманого програми.

Так, О. Ремер (1676 р.) спостерігав супутники Юпітера, маючи на меті застосувати ці методи в навігації, а виявив скінченність величини швидкості світла.

Дж. Брэдлей (1727 р.) намагався виміряти річні паралакси зір з метою встановлення відстаней до них, а виявив річну аберацію світла (те ж значно раніше зробив Р. Гук, однак він фактично не усвідомив, що саме йому вдалося відкрити).

В. Гершель (1781 р.) цілком випадково відкрив нову планету Уран.

Так же випадково малу планету Цереру виявив (1801 р.) Дж. Піацці, хоча за пошук об'єктів між Марсом і Юпітером декілька років раніше взялася ціла група астрономів.

Г. Швабе відкрив (1843 р.) циклічність у кількості плям на Сонці (що було поштовхом для розвитку фізики Сонця), хоча шукав планети всередині орбіти Меркурія.

Дж. Гартманн (1904 р.), досліджуючи зміни положень ліній у спектрі спектрально-подвійної зорі δ Оріона, відкрив (підтвердив) наявність речовини у міжзоряному просторі.

Х. Лівітт, досліджуючи змінні зорі в Малій Магеллановій Хмарі (1908 р.), виявила залежність між періодом зміни блиску і видимою величиною (фактично – світністю) зорі. Через 10 років це дало змогу Х. Шеплі оцінити розміри Галактики і встановити місце Сонця у ній.

К. Янський в намаганні виявити атмосферні джерела радіоперешкод наземного зв'язку відкрив (1931 р.) радіовипромінювання Галактики.

У. Хілтнер і Дж. Холл, здійснюючи зусилля для виявлення передбаченої теорією поляризації випромінювання в атмосферах гарячих зір, відкрили (1948 р.) міжзоряну поляризацію світла, що в свою чергу привело до висновку про наявність у міжзоряному середовищі магнітного поля і релятивістських частинок, гальмування яких у цьому полі є джерелом нетеплового космічного радіовипромінювання.

П. Меррілл, досліджуючи спектри S-зір, виявив там (1952 р.) технецій, період піврозпаду якого становить 200 000 років, що підтвердило гіпотезу, за якою важкі елементи синтезуються в зорях.

М. Уокер, досліджуючи короткоперіодичні флуктуації блиску старих нових, встановив (1954 р.), що Нова Геркулеса 1934 р. є тісною подвійною системою; згодом це було підтверджено і для інших нових і стало основою для пояснення великої різноманітності нестаціонарності в світі зір.

М. Шмідт, вивчаючи джерело радіовипромінювання 3C 273, виявив (1963 р.) червоне зміщення ліній у його спектрі. Так було встановлено існування квазарів як об'єктів, що перебувають далеко за межами нашої Галактики.

А. Пензіас і Р. Вілсон сконструювали радіотелескоп для прийому слабких сигналів, відбитих від штучного супутника-балона, зареєстрували однак (1965 р.) реліктове радіовипромінювання – свідчення гарячого стану Всесвіту на початковій стадії його розширення (тим часом одна велика група теоретиків якраз обґрунтовувала наявність такого випромінювання в космосі, інша – розробляла апаратуру для його виявлення).

І, нарешті, Е. Х'юїш та його група змонтували радіотелескоп для вивчення неоднорідностей міжпланетної речовини, зареєстрували ж (1967 р.) радіоімпульси від пульсара – нейтронної зорі.

Загалом, звичайно, можна стверджувати, що переважна більшість відкриттів не захоплювала астрономів зненацька, бо ж розуміння фізичної природи певного об'єкта чи явища вже було підготовлене всім ходом розвитку астрономії. Однак цей, далеко не повний, перелік «випадкових» відкриттів (а в окремих випадках, як останні три, вони мали вирішальне значення для подальшого розвитку науки) свідчить про необхідність державного фінансування також і «вільного пошуку» без твердої гарантії «виявлення нової елементарної

частинки у третьому кварталі» (епізод з відомого фільму про фізиків «Дев'ять днів одного року»).

Загалом оцінити, який відсоток відкриттів, здійснених в ту чи іншу епоху, слід віднести до «випадкових», дуже нелегко. Здається, дещо точніше можна відповісти на інше питання: яким був відсоток тих учених, хто розширював горизонти астрономії, не маючи відповідної (взагалі – вищої) освіти? Як виглядає, в останні 300 років це був кожний десятий.

Першим тут був польський астроном Ян Гевелій (1611–1687) – основоположник селенографії. Він відкрив оптичну лібрацію Місяця (1647 р.), фази Меркурія, чотири комети, здійснив перший точний вимір періоду обертання Сонця. Водночас упродовж багатьох років Гевелій був бургомістром Гданська.

Самотужки вивчив астрономію француз Нікола Луї де Лакайль (1713–1762), який прославився як один з найплодовитіших спостерігачів свого часу. Організувавши експедицію у південну півкулю Землі, він наніс на карту неба майже 10 000 південних зір, здійснив численні спостереження Місяця, Марса і Венери для визначення сонячного і місячного паралаксів, основні роботи з вимірювання дуги меридіана на території Франції і довів, що екваторіальний радіус Землі більший, ніж полярний.

Лише початкову освіту здобув французький астроном-академік Шарль Месьє (1730–1817), який протягом 40 років відкрив 14 комет, склав (1781 р.) перший в історії астрономії каталог туманностей і зоряних скупчень (109 об'єктів, з яких 68 вперше було виявлено самим Месьє).

Філософії і богослов'ю присвятив свої молоді роки італієць Джузеппе Піацці (1746–1826), однак згодом він цілком захопився математикою та астрономією, збудував Палермську обсерваторію і очолив її. А 1 січня 1801 р. він відкрив першу малу планету – Цереру. Через два роки Піацці опублікував каталог положень 6748 зір, виявив власні рухи ряду зір.

Не мав спеціальної вищої освіти француз, академік П'єр Симон Лаплас (1749–1827), основні праці якого стосуються небесної механіки (саме Лаплас і ввів цей термін у 1798 р.). У 5-томному «Трактаті про небесну механіку» (1798–1825 рр.) Лаплас розглянув проблеми теорії руху небесних тіл і фігур їхньої рівноваги; він

відкрив причини прискорення руху Місяця, довів стійкість Сонячної системи.

Лише домашню освіту мав англійський астроном Вільям Гершель (1738–1822), композитор і вчитель музики, який відшліфував близько 400 дзеркал для телескопів, а за їх допомогою відкрив планету Уран 13 березня 1781 р., два супутники Урана і два – Сатурна, встановив загальні закономірності будови Галактики, виявив (1783 р.) рух Сонячної системи у просторі, виявив близько 2500 туманностей і зоряних скупчень, виміряв відносну яскравість понад 3000 зір, відкрив (1800 р.) інфрачервоні промені. Його сестра Кароліна Гершель (1750–1848) підготувала до друку каталоги відкритих В. Гершелем туманностей і зоряних скупчень, відкрила 8 комет і 14 туманностей.

Німецький лікар Генріх Ольберс (1758–1840) побудував обсерваторію в Берліні, відкрив 7 комет, розробив метод визначення параболічної орбіти комети за трьома спостереженнями, відкрив (1802 р.) другу малу планету Палладу, а невдовзі (1807 р.) – четверту, Весту. Ольберс запропонував гіпотезу про походження малих планет внаслідок розриву великої планети між орбітами Марса і Юпітера, висловив припущення про відштовхуючу силу Сонця, як причину формування хвостів комет, сформулював фотометричний парадокс (1826 р.).

Завдяки самоосвіті сягнув вершин німецький астроном Фрідріх Вільгельм Бессель (1784–1846), який організував обсерваторію в Кенігсбергу, де й працював її директором до останніх років свого життя. Бессель – один із засновників астрометрії, один з найкращих астрономів-спостерігачів. На встановленому ним меридіанному колі він провів спостереження понад 75 000 зір. Бессель дав доказ того, що як у Сиріуса, так і у Проціона є невидимі супутники, виміряв річний паралакс зорі 61 Лебеда (1838 р.). Він же проводив тріангуляцію у Східній Пруссії, визначив елементи земного «сфероїда Бесселя», який використовували близько ста років.

Не мав систематичної освіти американець Асаф Холл (1829–1907), який 1877 р. відкрив супутники Марса Фобос і Деймос, визначив параметри орбіт багатьох подвійних зір, а також орбіт супутників Сатурна, Урана, Нептуна.

Те ж можна сказати і про іншого американського астронома Мілтона Х'юмасона, який почав працювати в обсерваторії Маунт-

Вілсон нічним асистентом, але невдовзі став основним спостерігачем на 100- і, пізніше, – 200-дюймовому телескопах, визначивши променеві швидкості 620 галактик (на 1957 р. це було більше, ніж встановили усі інші спостерігачі разом узяті). Він же провів спектральні спостереження великої кількості наднових і колишніх нових зір, відкрив одну комету.

Не навчався в університетах французький астроном Каміль Фламмаріон (1842–1925), який, зокрема, в 1883 р. заснував обсерваторію в Жювізі та був її директором. З часу виходу в 1861 р. книги «Множинність заселених світів» Фламмаріон став найвідомішим популяризатором науки своєї епохи. Він також провів серйозні дослідження подвійних і кратних зір, здійснив тривалі спостереження планети Марс, зокрема, зауважив сезонні зміни протяжності її темних ділянок.

Нарешті, самотужки здобув знання і російський астроном Б. В. Кукаркін (1909–1977), який здійснив важливі дослідження фізичних та кінематичних характеристик змінних зір різних типів, розподілу змінних зір у Галактиці, розвинув уявлення про існування в Галактиці декількох підсистем (плоскої, проміжної і сферичної) з різними фізичними, кінематичними та віковими характеристиками, став співавтором багатотомного каталогу змінних зір, опублікував каталог кулястих скупчень Галактики (129 об'єктів).

§ 6. ОСНОВИ ТЕОРІЇ КАЛЕНДАРЯ

Здебільшого те чи інше астрономічне відкриття, долаючи кордони, більш чи менш швидко ставало надбанням усього людства. Є, однак, тема, яка в кожній державі, кожним плем'ям, кожним народом розроблялася незалежно, так би мовити, без зволікань та очікувань. Йдеться про *календар* – про певну систему лічби часу. У всіх закутках планети люди намагалися визначити тривалість синодичного місяця (*S*) і тропічного року (*T_γ*) та використати ці знання у своїй практичній діяльності. Спочатку ця лічба часу могла бути дуже примітивною. Однак, з часом, з розвитком людської культури календарі все більше удосконалювалися, стаючи її, культури, важливим елементом.

Труднощі, які виникали при розробці календаря, обумовлені тим, що тривалості доби, синодичного місяця і тропічного року несумірні між собою. Нічого дивного, що в далекому минулому кожне плем'я,

кожне місто, держава створювали свої власні календарі, по-різному складаючи з діб місяці і роки. В одних місцях люди вели облік часу одиницями, близькими до тривалості синодичного місяця, приймаючи в році певне (як правило, дванадцять) число місяців і не беручи до уваги зміну пір року. Так з'явилися *місячні* календарі. Інші вимірювали час такими ж місяцями, однак тривалість року намагалися узгодити зі змінами пір року в *сонячно-місячному* календарі. Нарешті, треті за основу лічби днів брали зміну пір року, а зміну фаз Місяця взагалі не приймали до уваги, створюючи *сонячні* календарі.

Історія астрономії в багатьох регіонах (зокрема, в Єгипті, Вавилоні, Давній Греції) на великих проміжках часу зводиться до з'ясування того, як люди, що замешкували ці закутки планети, зуміли використати свої знання саме для створення тої чи іншої календарної системи. Тому раніше, ніж обговорювати розвиток астрономії в кожному з регіонів, є потреба ознайомитися із загальними принципами побудови календарів (як прийнято говорити – з арифметикою календарів).

а) **Місячний календар.** Тривалість *синодичного місяця* – 29,53059 доби. Очевидно, що відповідний йому календарний місяць може мати 29 або 30 діб. Календарний місячний рік складається з 12 місяців. Відповідна йому тривалість астрономічного місячного року $12S = 354,36706$ доби. Тому, можна прийняти, що календарний місячний рік складається з 354 діб: шести місяців по 30 діб і шести по 29 діб. А щоб початок календарного місяця збігався з новим Місяцем (фактично – з *неоменією*, з першою появою вузького серпа Місяця на вечірньому небі), ці місяці повинні чергуватися, наприклад, парні місяці мати по 30 діб, непарні – по 29, що в сумі і дає 354 доби.

Оскільки ж проміжок часу в $12S$ на 0,36706 доби більший від календарного року, то за три таких роки це відхилення вже зросте до 1,10118 доби. Отже, в четвертому від початку лічби році неоменія припадає не на перші, а на другі числа місяців і т. д. Тому календар час від часу треба виправляти: приблизно через кожні два роки вставляти один день, тобто замість 354 діб вважати в році 355. Рік з 354 днів прийнято називати *простим*, рік з 355 днів – *продовженим*.

Спроби удосконалення місячного календаря зводилися до пошуку такого числа (що складає цикл) місячних років, за яке накопичується якесь ціле (майже ціле) число вставних днів. Це знайдене їх число і

розподіляється між окремими роками всередині циклу. Найбільш придатними виявилися два варіанти: 1) «*турецький цикл*», в якому протягом восьми років здійснюють вставку трьох діб; тут $354,36706 \times 8 = 2834,9365 \approx 2835 = 354 \times 8 + 3$. Звичайно продовженими є 2-й, 5-й і 7-й роки 8-річного циклу. Похибка в одну добу набігає за 16 циклів, то ж через кожні 128 років слід цю одну добу вилучити з обліку. 2) «*арабський цикл*», в якому за кожні 30 років здійснюється вставка 11 діб. Тут $354,36706 \times 30 = 10631,012 \approx 10631 = 19 \times 354 + 11 \times 355$. Продовженими є 2-й, 5-й, 7-й, 10-й, 13-й, 16-й, 18-й, 21-й, 24-й, 26-й і 29-й роки циклу. Тут похибка в одну добу нагромаджується за 3000 років.

б) **Місячно-сонячний календар.** В основу теорії місячно-сонячних календарів покладено тропічний рік та синодичний місяць. Поділивши T_{γ} на S , знаходимо, що один тропічний рік становить 12,36826 синодичних місяців, тобто 12 повних місячних місяців і ще приблизно третину. Отже рік у місячно-сонячному календарі може мати 12 або 13 місяців. В цьому другому випадку його звуть *емболісмічним* (від грець. ἔμβολος – клин, вставка). У середньовічній Європі вставку додаткового дня чи місяця було прийнято називати *інтеркаляцією*, а сам додатковий місяць – *інтеркалярієм*.

У місячно-сонячних календарях початок кожного календарного місяця повинен бути якомога ближче до нового місяця (чи неоменії), а середня протягом певного циклу тривалість календарного року – якомога ближча до тривалості тропічного року. Вставку 13-го місяця здійснюють час від часу так, щоб початок календарного року підтримувати близько до певного моменту астрономічного сонячного року, найчастіше – до весняного рівнодення. Найбільшого поширення набули два варіанти: 8-річний і 19-річний цикли.

1) У 8-річному циклі – *октаетериді* (від грець. οκτώ – вісім) приймається, що 8 сонячних років = 2922 дні = 99 місяців – 48 по 29 діб і 51 по 30. Насправді ж тривалість 99 синодичних місяців – це 2923,53 доби. Отже похибка 8-річного циклу дорівнює 1,53 доби за 8 років, або приблизно три доби за 16 років. Тому якщо на початку циклу неоменія спостерігається в момент рівнодення, то через 16 років неоменія буде на третій після рівнодення день. Оскільки лічба днів ведеться до чергових неоменій, то цикл насправді налічує 2924 доби, тобто тут здійснюється вставка трьох місяців по 30 діб (у 3-му, 6-му

і 8-му роках циклу) і трьох діб за кожні 16 років (у першому циклі 2 місяці замість 29 мають по 30 діб, в другому – один). Оскільки ж за кожні 16 років 1-ше число місяця зміщується на 3 доби вперед відносно весняного рівнодення і за 160 років це дає 30 діб, то після кожних 160 років з лічби вилучається один повний місяць.

2) У 19-річному, *метоновому циклі* виконується таке співвідношення: 19 тропічних років = 235 синодичних місяців. Справді, $19 \times 365,2422 = 6939,60180$ доби; $235 \times 29,53059 = 6939,68865$ доби. Похибка метонового циклу становить 0,08685 доби (тобто 2,1 год) – на стільки фази Місяця зсуваються вперед за кожні 19 років. Ціла доба тут набігає за 219 тропічних років. Оскільки ж в календарному році може бути лише ціле число діб, то приймалося, що 235 місяців = 6940 діб. У циклі налічувалося 110 коротких (по 29 діб) і 125 повних (по 30 діб) місяців. Вставка 13-го місяця (30 діб) здійснюється 7 разів за кожні 19 років.

в) **Сонячний календар.** В основі *сонячного* календаря лежить тривалість тропічного року. Отже календарний рік може мати 365 або 366 діб. Теорія повинна вказати порядок чергування простих (365) і продовжених (високосних, 366 діб) років в якомусь певному циклі з тим, щоб середня за цикл тривалість календарного року була якомога ближчою до тривалості тропічного року.

Найпростішим є цикл з чотирьох років, протягом якого здійснюється одна вставка (тобто з кожних чотирьох років три мають по 365 діб, а четвертий – 366 діб). Такою була система *юліанського календаря*. Однак в середньому тривалість року цього календаря на 0,0078 доби більша, ніж тривалість тропічного року. Ця різниця за кожні 128 років складає цілу добу: за цей час кожне конкретне явище тропічного року (наприклад, весняне рівнодення) в такому календарі зміщується на одну добу на більш ранню календарну дату (з 21 березня на 20 і т. д.).

Інший варіант сонячного календаря – 29-річний цикл з 7-ма високосними роками – вживався упродовж 800 років у Персів. Діючий сьогодні *григоріанський календар* має цикл 400 років, в якому налічується 303 роки по 365 діб і 97 років по 366 діб. Усього в циклі 146 097 діб, тому середня тривалість календарного року становить 365,24250 діб. Вона більша за тропічний рік усього на 0,00030 доби, тобто на 26 с. Тут відхилення в одну добу накопичується за 3300 р.

(без урахування сповільнення обертального руху Землі, з таким урахуванням – за близько 2700 років).

Хронологічний аспект. У своїй практичній діяльності люди не могли обходитися без певної *ери* – системи лічби років (літочислення). Початкову точку тої чи іншої ери названо її *епохою*. Упорядкуванням давно минулих подій в єдину світову історію займається *хронологія* (від грець. *χρόνος* – час, *λόγος* – вчення), завданням якої і є вивчення форм та методів лічби часу, що вживалися різними народами та поселеннями, співставлення і визначення точних дат певних історичних подій та документів.

Одним із способів лічби років була їхня нумерація від приходу до влади чергового правителя – царя, фараона чи видатного полководця (як ось: «Рік 37 Навуходоносора, царя Вавилону...»). Упродовж майже 1500 років при астрономічних обчисленнях використовувалася ера Набонассара з епохою 26 лютого 747 р. до н. е. Широкого розповсюдження вона набула тому, що грецький астроном Клавдій Птолемей своїм вміщеним в «Альмагесті» «Каноном царів» охопив 907 років – від вавилонського царя Набонассара до римського імператора Антоніна Пія (138–161 рр. н. е.). У цьому «Каноні» були вказані імена і роки правління вавилоно-ассирійських, персидських і македонських (грецьких) царів та римських імператорів, як також загальне число років, що минуло від згаданої епохи. «Канон» мав такі особливості: 1) у ньому використано рік тривалістю 365 днів – «єгипетський рік» (саме це і робило його дуже зручним для астрономічних обчислень, чим скористався і М. Коперник); 2) незалежно від того, в якому місяці року почалося правління того чи іншого царя, вважалося, що воно відлічується від 1-го дня цього року (у суто вавилонській традиції було навпаки: лише з дня Нового року наступного за тим, в якому правитель прийшов до влади).

Наше літочислення «від різдвя Христова» було введено папським архіваріусом Діонісієм Малім у 525 р. На Заході роки у цій системі мають позначення AD – *Anno Domini* – «року Господа». Однак вже загальновизнано, що реальна подія, яку Діонісій прийняв за точку відліку – різдво Христове (насправді, за початок року він узяв свято Благовіщення, 25 березня) – сталася на 6 років раніше. Тому цілком прийнятним є звичне нам позначення «такий-то рік нашої ери» (н. е.).

У XVIII ст. це літочислення було поширене на роки «до різдва Христового» з позначенням років а.Д. – *ante Deum* – «до Господа». У цій «історичній» лічбі років прийнято, що 1-й рік до н. е. безпосередньо межує з 1-м роком н. е. Це, однак, створювало незручності при обчисленнях інтервалів часу, що включали в собі епоху ери (наприклад, від 3 р. до н. е. до 1 р. н. е. минуло не 4, а 3 роки). Тому в 1740 р. французький астроном Жак Кассіні (1667–1756) увів астрономічну систему літочислення, в якій рік, що стоїть перед 1-м роком н. е., названо нульовим, той, що перед ним, – мінус першим (–1) і т.д. При цьому місяці і дні, як і в додатних роках, лічаться вперед. Загалом, отже, (N+1)-й рік до н. е. = –N-й рік, K-й рік н. е. = + K.

Наприклад, з обчислень випливало, що якась астрономічна подія (скажімо, поява комети) відбулася в –361,3 р. При переході до історичного літочислення враховується передовсім, що –0,3 року – це 0,7 попереднього «–362» року, причому 0,7 року відповідає даті, близькій до 14 вересня. У свою чергу, «–362» рік – це 363-й рік до н. е. Отже, згадана астрономічна подія сталася $-361,3 = 14$ вересня мінус 362 р. = 14 вересня 363 р. до н. е.

§ 7. Особливості видимого руху Сонця, Місяця і планет

Рух Сонця. Вивчаючи зоряне небо, давні спостерігачі не могли не зауважити, що положення зір на небосхилі невпинно, від вечора до вечора, змінюється. Зокрема, зорі, які весною безпосередньо після заходу Сонця підіймалися над горизонтом на сході, близько через три місяці на цю ж пору доби вже перебували у верхній кульмінації – проходячи через небесний меридіан, займали своє найвище положення на небосхилі. Ще через три місяці ці ж зорі вже зникали у вечірній заграві на заході. І, навпаки, зоря, що весною безпосередньо перед сходом Сонця з'являлася над горизонтом у його східній частині, влітку до сходу Сонця досягала вже найвищого положення, а восени на ту ж пору ховалася за горизонт на заході.

З аналізу цієї ритмічної зміни вигляду зоряного неба було зроблено висновок про те, що Сонце рухається відносно зір з заходу на схід (назустріч видимому обертанню сфери зір), здійснюючи повний оберт за рік. Згодом велике коло, по якому рухається центр диска Сонця, було названо *екліптикою* (від грецького *έκλειπτω* – затемнюю, оскільки було виявлено, що затемнення відбуваються тоді, коли

Місяць під час повні або нового місяця перебуває на або поблизу неї). Одною з перших задач, що їх розв'язували давні спостерігачі, і було встановлення кута ϵ і нахилу екліптики до площини небесного екватора.

Отже, у зв'язку з видимим переміщенням Сонця серед зір та чи інша зоря, що перебуває поблизу екліптики, зникає у вечірній заграві в західній частині небосхилу, щоб через 10–20 діб з'явитися вранці перед сходом Сонця в його східній частині. Загалом це дозволяє виділити такі характерні чи визначальні (що відбуваються лише один раз у році) сходи і заходи зір:

геліакічний схід (від гр. $\eta\lambda\iota\omicron\varsigma$ – Сонце) – першу появу зорі на світанку у східній частині небосхилу;

космічний захід (від гр. $\kappa\acute{o}\sigma\mu\omicron\varsigma$ – прикраса) – захід зорі на світанку в західній частині небосхилу;

акронічний схід (від гр. $\acute{\alpha}\kappa\rho\sigma$ – найвищий) – схід зорі ввечері наприкінці вечірніх присмерків і

геліакічний захід – останню появу зорі ввечері при її заході, що настає невдовзі після заходу Сонця.

Те, як зі згаданими характерними положеннями окремих зір та їхніх груп на небі люди в різних регіонах планети пов'язували, зокрема, початок певних хліборобських робіт, також є одним із надбань загальнолюдською культурою.

Як відомо, в русі Сонця по екліптиці виділяється його перехід через точки весняного (Υ) і осіннього рівнодення (Ω), а також через точки літнього (G) та зимового (D) сонцестоянь. При цьому точка весняного рівнодення Υ (і відповідно точка Ω) неперервно зміщується назустріч Сонцю з кутовою швидкістю $50,26''$ за рік або ж 1° за 72 роки. Завдяки цьому ефекту **прецесії** проміжок часу, за який Сонце повертається до тої ж зорі – **зоряний рік** T_* ($=365,256360$ доби), на $0,0142$ доби ($= 20$ хв 24 с) більший від року **тропічного** T_T . Встановити це давнім спостерігачам вдалося не зразу. Значно легше було виявити нерівномірність руху Сонця по екліптиці (що є відображенням руху Землі по еліптичній орбіті).

Рух Місяця. Усвідомивши повторюваність руху Місяця на тлі зір, як і зміни його зовнішнього вигляду (його **фаз**), давні спостерігачі легко виявили необхідність розрізняти два різні періоди: проміжок часу $T_C \approx 27,32$ доби, за який Місяць повертається до тої ж зорі

(*сидеричний період*) і проміжок часу $S_c \approx 29,53$ доби, за який змінюються його фази (*синодичний період*). Належало:

1) визначити ці періоди, як також, узявши до уваги, що відхилення тривалості синодичного місяця від його середнього значення сягає $\pm 6,5$ год, використати це знання при календарних обрахунках;

2) встановити, що рух Місяця на небі є нерівномірним (при середній кутовій швидкості $13,2^\circ$ за добу вона коливається в межах від 11° до 15° за добу, що є наслідком руху Місяця по еліптичній орбіті);

3) виявити, що в процесі свого руху на тлі зір Місяць перетинає екліптику відповідно у *висхідному* і *низхідному* вузлах, то підіймаючись над нею (наближаючись до Північного полюса світу) на $5^\circ 09'$, то опускаючись нижче від неї на стільки ж, і усвідомити, що внаслідок цього упродовж року істотно змінюються умови видимості молодого Місяця, а ввівши поняття «високого» і «низького» Місяця, використувати ці знання при календарних обрахунках, оскільки, зокрема, на широті Вавилону ($\varphi = 32,5^\circ$) проміжок часу між сполученням Місяця з Сонцем (*кон'юнкцією*) та неоменією змінюється в межах від 16 год 30 хв у березні до 42 год у вересні;

4) встановити, що вузли місячної орбіти неперервно зміщуються в бік заходу (назустріч Місяцеві), завершуючи повний оберт за 18,61 року, що відстань висхідного вузла від точки Υ щороку зменшується приблизно на $19,3^\circ$, а за один оберт Місяця (за *драконічний місяць* $S_\Omega = 27,21$ доби) – на $1,5^\circ$, внаслідок чого Сонце проходить через один і той же вузол через $T_\Omega = 346,62$ доби, цей проміжок часу зветься *драконічним роком*;

5) виявити, що затемнення Сонця трапляються тоді, коли відстань Місяця і Сонця від вузла місячної орбіти буде меншою від $\Delta l \approx 16...18^\circ$ (затемнення повне, коли $\Delta l \leq 11,5^\circ$), а затемнення Місяця – коли обидва світила перебувають поблизу протилежних вузлів, причому Сонце – на відстані $\Delta l \leq 12^\circ$ від нього (при $\Delta l \leq 5,6^\circ$ затемнення повне);

6) встановити, що через проміжок часу (названий *саросом*) $6585,3$ доби = 18 років 11,3 доби (= $223S_c = 242S_\Omega = 19T_\Omega$) затемнення повторюються; однак за 0,3 доби Земля повернеться майже на 120° , а затемнення настане майже на 8 год пізніше, і лише через 54 роки затемнення Сонця повториться приблизно у тій же місцевості; що легше виявити повторюваність через 18 років

затемнень Місяця, оскільки його видно з усієї півкулі Землі, де Місяць – над горизонтом.

Рух планет. Одним з перших надбань астрономії було, очевидно, встановлення того факту, що деякі світила – крім Сонця і Місяця їх було виявлено ще п'ять – змінюють своє положення серед нерухомих зір. Усі вони згодом отримали від давніх греків спільну назву *планети*, тобто «блукаючі світила», а від римлян (зореподібні об'єкти) – Меркурій, Венера, Марс, Юпітер і Сатурн.

При вивченні згаданих тут п'яти планет давнім спостерігачам поступово необхідно було встановити, що

1) планети діляться на дві групи, істотно відрізняючись між собою характерними положеннями відносно Сонця: а) *нижні* планети – Меркурій і Венера, які наче «коливаються» поблизу нього, відхиляючись то «вліво», в бік сходу, то «вправо», в бік заходу (Меркурій на $17...27^\circ$, Венера на $46...48^\circ$) і, отже, стаючи на певний час то «ранковою», то «вечірньою зорею» (необхідно було також встановити, що в першому і другому випадку йдеться про одне і те ж світило), б) *верхні* планети, для яких кутова відстань від Сонця змінюється від 0° (*сполучення* планети з Сонцем) до 180° (*протистояння*) і далі до 360° (до 0° , після чого цикл повторюється);

2) в русі планет (як нижніх, так і верхніх) спостерігаються такі особливості: планета зменшує кутову швидкість свого пересування в бік сходу (це – *прямий* її рух), зупиняється, після чого певний час рухається відносно зір у бік заходу (*назадний* рух), знову зупиняється і відновлює свій прямий рух назустріч видимому обертанню небесної сфери; при цьому в середині назадного руху нижня планета перебуває у нижньому сполученні з Сонцем, тоді як верхня планета – у протистоянні з ним;

3) положення планети відносно Сонця повторюється через певний проміжок часу S – *синодичний період* (для Венери $S = 584$ доби, Марса – 780 , Юпітера – 399 діб); повнота ж опису руху планети на тлі зір забезпечувалася знанням її *сидеричного періоду* T , який визначався введенням поняття про «середню планету», що мала б рухатися зі сталою кутовою швидкістю лише в прямому напрямі (в бік сходу) з умови, що справжня і середня планети в один і той же момент займають певне характерне положення (сполучення чи протистояння);

4) відхилення в русі планет від екліптики (почергово в бік Північного і Південного полюсів світу) незначне – найбільше воно в Меркурія (7°) і Венери ($3,4^\circ$), і це дозволяло, ввівши екліптичну довготу планети λ – її кутову відстань від точки весняного рівнодення Υ , наперед обчислювати положення планет на небі (згодом і з урахуванням їхніх відхилень від екліптики).

Для опису руху планети було зручним виділяти головні точки її положення відносно Сонця, як про це, зокрема, свідчить розшифровка планетних таблиць, складених вавилонськими астрономами. Для нижніх планет це (див. кн. Б. Ван-дер-Вардена, с.120):

Γ = MF = Morning first = перша поява вранці,

Φ = MSt = Morning Station = ранкове стояння (закінчення назаднього руху),

Σ = ML = Morning last = остання видимість вранці,

Ξ = EF = Evening first = перша видимість ввечері,

Ψ = ESt = Evening Station = вечірнє стояння (початок назаднього руху).

Ω = EL = Evening last = остання видимість ввечері.

Аналогічно для верхніх планет (рис. В. 2.):

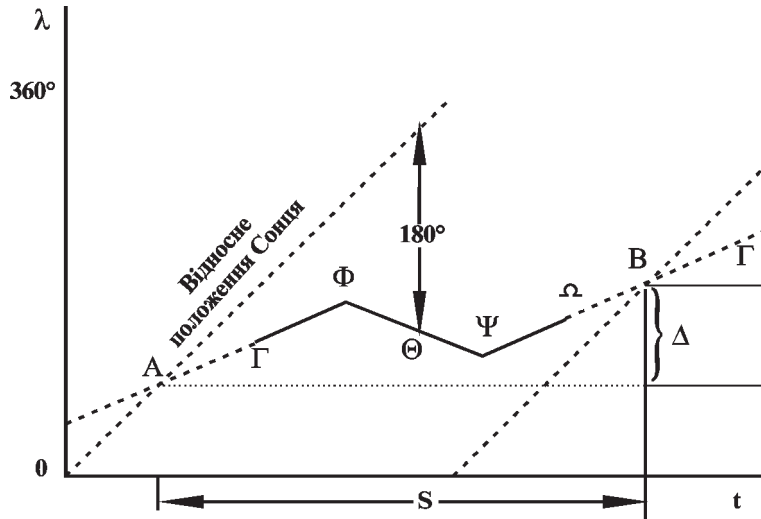


Рис. В. 2. Головні точки в положенні верхньої планети відносно Сонця, виділені вавилонськими астрономами.

Γ = MF = Morning first = перша поява вранці,
 Φ = MSt = Morning Station = ранкове стояння (початок
 назаднього руху),
 Θ = Op = Opposition = протистояння,
 Ψ = ESt = Evening Station = вечірнє стояння (кінець назаднього
 руху),
 Ω = EL = Evening last = остання видимість ввечері.
 Саме визначення положень цих точок і відповідних їм дат було
 головною темою вавилонських планетних таблиць.

§ 8. СУЗІР'Я – НА НЕБІ І В АТЛАСАХ

Як згадувалося, вже здавна люди виділили на небі окремі групи
 зір – *сузір'я* (а дещо, мабуть, пізніше – і окремі найяскравіші зорі),
 даючи їм (для легшого запам'ятовування і зручності при
 вказуванні «що і де видно на небі») певні назви. Чимало з них
 збереглося і до наших днів. Вони-то, хоча й вимагаючи іноді певних
 зусиль для їхньої розшифровки, розповідають нам про час і місце
 свого виникнення, подекуди – час їх запозичення.

Цю ситуацію вдало охарактеризував Ю. О. Карпенко (1985): «Після
 розшифровки етимологічного смислу назви завжди залишається важке
 питання: *чому?* І суть цього питання не в тому лише, яким чином,
 скажімо, сузір'я отримало назву *Лев*. Адже його можна сформулювати
 і так: чому саме *Лев*, чому цей об'єкт названо так, а не інакше?
 «Астрономи... у пошуках відповіді здавна звертаються до античної
 міфології. Але міфологія... скоріше заважає, ніж допомагає збагнути
 смисл старих астрономічних назв. Земні соціально-історичні реалії
 означали для небесної номінації куди більше, ніж міфи. Зрештою і
 найбільш звичайний, елементарний смисл слів, що стали назвами
 небесних тіл, з часом може бути втраченим...»

Загалом щодо назви того чи іншого сузір'я питання ставиться
 так: чи ця назва є метафорою, тобто чи вона дана за подібністю,
 чи вона є метонімією, тобто різновидом асоціації (як ось Терези
 відображають ідею рівноваги дня і ночі). Найімовірнішою
 відповіддю є така: серед назв старих сузір'їв панує метафора, тоді
 як метонімія трапляється незрівнянно рідше.

Ціла низка істориків астрономії, не маючи щоправда переконли-
 вих доказів, виходячи з логічних розмірковувань, надто звужували

регіон – «батьківщину зоряних фігур». Ось, зокрема, до з цього приводу писав Е. Маундер (1906 р.): «Люди, які поділили небо на сузір'я, жили, найімовірніше, між 36° і 42° північної широти, так що батьківщиною позначення сузір'їв не міг бути ні Єгипет, ні Вавилон..., датою завершення давньої справи найменування сузір'їв... є 2300 р. до н. е. Було зауважено, що в числі фігур, якими зображене сузір'я, немає таких тварин: слона, верблюда, гіпопотама, крокодила і тигра, і тому ми можемо стверджувати, що ні Індія, ні Аравія, ні Єгипет не могли бути місцем, де зародилася ідея про небесну сферу. Грецію, Італію та Іспанію ми можемо виключити на тій підставі, що в числі фігур сузір'їв є фігура лева. Таким чином, розмірковуючи чисто логічно, ми можемо стверджувати, що батьківщиною зоряних фігур може бути Мала Азія і Вірменія, тобто територія, обмежена Чорним, Середземним, Каспійським та Егейським морями». Дещо пізніше (1911 р.) В. Олкотт висловив аналогічне твердження: «Дані астрономії погоджуються з історичними і археологічними дослідженнями в тому, що особи, які придумали давні фігури сузір'їв, жили, імовірно, в долині Євфрату, а також в місцевості навколо гори Арарат...» (цит. за Е. С. Парсамян, 1988).

Як знаємо, більшість сузір'їв Північної півкулі небесної сфери прийшла в Європу від античної Греції. Є підстави стверджувати, що давні греки, у свою чергу, запозичили поділ неба на сузір'я і деякі їхні назви у вавілонян. Принаймні – певну їх частину. Бо аж ніяк не можна заперечити те, що народ – творець таких шедеврів як «Іліада» та «Одіссея» та й інших духовних скарбів, які стали надбанням вселюдської культури (включно з давньогрецькою «Теогонією»), розправивши крила своєї фантазії, міг дати назви сузір'ям і легенди «для них» придумати. До речі, і лев не лише «на небі», а й в легенді про Геракла був для греків істотою відомою...

Водночас є підстави стверджувати, що в усіх закутках планети (а не лише у вказаному Е. Маундером регіоні) люди «стихійно» виділяли на небі сузір'я і давали їм певні назви. І можна лише пожаліти за тим, що прогрес науки (тут – астрономії) супроводжувався своєрідною уніфікацією понять, термінів і власних назв. Промовистим прикладом тут є хоча б уявлення щодо природи Молочного Шляху і назви, що їх дали йому різні народи світу.

Сріблясту туманну смугу, яка охоплює небесну сферу і яку добре видно в безмісячні ночі, давні греки назвали Молочним колом. І напевне, значно пізніше вони «для пояснення явища» придумали відповідну легенду («молоко богині Гери, що проллялося, коли вона відштовхнула новонародженого Геракла»). У цій назві люди намагалися з'ясувати субстанцію космічного об'єкта. У Птолемея це – Стрічка, у Давньому Вавилоні – Золотий Шнур, у всіх монгольських мовах – Небесний Шов тощо. Інші виводили назву від форми об'єкта. Для мешканців Індії – це Русло Гангу, Греції – міфічна ріка Елідан, для давніх аккадців – Ріка Неба, асирійців – Ріка Великої Безодні, для китайців – Небесна Ріка, Срібна Ріка, для в'єтнамців – Зоряна Ріка, для кочівників (зокрема арабів) – це Солом'яна Дорога, для українців – Чумацький Шлях, для молдаван – Дорога Невільників, для багатьох народів також це Пташиний Шлях чи Гусяча Дорога (ще – Дорога у вирій, відоме багатьом з дитинства...). Загальноживане ж у сучасній астрономії (і перекладене на всі національні мови) поняття Молочний Шлях з'явилося внаслідок поєднання (*контамінації*) двох назв – грецької (Молочне Коло) і латинської (Царська Дорога Неба).

Про становлення назв як сузір'їв, так і окремих астеризмів, (менших груп зір, виділених у деяких сузір'ях, як наприклад Плеяди) читач знайде розповіді в книгах М. Гладишевої (1960) та Ю. О. Карпенка (1985), конкретно вавилонські назви сузір'їв є в книзі Б. Ван-дер-Вардена (1991) (див. також нижче розділ 3 1-ої частини). Стисла ж історія появи на зоряному небі вживаних сьогодні назв сузір'їв є такою.

Дві групи зір – Плеяди та Оріон – згадує в поемі «Роботи і дні» давньогрецький поет Гесіод (VIII ст. до н. е.). В «Одіссей» ж його сучасника поета Гомера, мовиться про Плеяди, Волопаса, Ведмедицю («інші ще Возом її називають») та Оріона. У IV ст. до н. е. Евдокс виділяв на небі вже 45 сузір'їв, а в «Альмагесті» Птолемея їх налічується 48. Це Велика Ведмедиця, Мала Ведмедиця, Дракон, Кефей, Волопас, Північний Вінок, Людина на колінах (з XVI ст. це – Геркулес), Ліра або Падаючий Яструб, Птах або Лебідь, Кассіопея, Візничий, Офіух (Змієносець), Змія, Стріла, Орел, Дельфін, Малий Кінь (Пегас), Андромеда, Північний Трикутник, зодіакальні сузір'я – Телець, Овен, Риби, Водолій, Козоріг, Стрілець, Скорпіон,

Терези, Діва, Лев, Рак, Близнята – і сузір'я Південної, відносно екліптики, частини небесної сфери – Кит, Оріон, Ріка Ерідан, Заєць, Великий Пес, Малий Пес, Корабель Арго, Гідра, Чаша, Ворон, Вівтар, Кентавр, Звір (Вовк), Південний Вінок і Південна Риба. Усі їхні назви пов'язано з міфологією. І лише одне сузір'я Північної півкулі неба – Волосся Вероніки – з історичною особою: Веронікою звали дружину єгипетського царя Птолемея Евергета (III ст. до н. е.).

Поруч зі списками (каталогами) зір давньогрецькі астрономи (див. далі част. I, розділ 5) використовували небесні глобуси. Згодом астрономи країн ісламу зображали елементи небесного глобуса – сузір'я – вже на окремих картах. Зокрема, великою популярністю в Європі користувався «Трактат про нерухомі зорі» видатного астронома Абд-ар-Рахмана ас-Суфі (903–936), екземпляри якого зберігаються в Каїрі та Оксфорді (рис. В. 2.). Аналогічні (і найвідоміші) праці європейських авторів, що збереглися до наших днів, виконані вже друкарським способом. Першою (1515 р.) була праця художника Альбрехта Дюрера, яку він здійснив разом з Йоганном Стабієм та Конрадом Хейнфонелем. На карті було зображено фігури сузір'їв, причому положення зір відповідало їхнім небесними координатам. Вказуючи джерела своєї інформації, Дюрер на чотирьох кутах карти помістив «Птолемея Єгиптянина, Манілія Римського, Арата із Солою та Араба Ас-Суфі» (П. В. Щеглов, 1986). Широкого розповсюдження в Європі набув атлас Гігінія (Базель, 1545 р. рис. В. 3).

Новий крок у справі позначення зір у кожному сузір'ї було зроблено італійським астрономом (і єпископом) Алессандро Пікколоміні (1508–1578). У своєму атласі зоряного неба, що мав



Рис. В. 2. Сузір'я Персея (з рукопису ас-Суфі, що знаходиться в Каїрі).

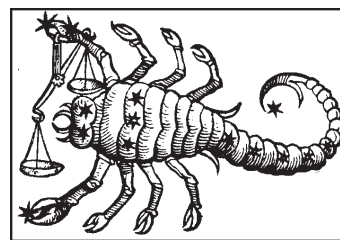


Рис. В. 3. Зображення сузір'я Скорпіона в атласі Гігінія.

назву «Про нерухомі зорі», а текст до нього – «Про сфери світу» (Венеція, 1540 р., книга перевидавалася не менше 14 разів, була перевидана латинською і французькою мовами). Пікколоміні позначив зорі кожного сузір'я грецькими і латинськими (малими) літерами в міру зменшення їхнього блиску.

Водночас удосконалювався і спосіб зображення окремих ділянок зоряного неба. Так, в атласі Джованні Паоло Галуччі, що мав назву «Театр Світу і Часу» (Венеція, 1588 р.) карти неба подано в трапецієподібній проекції: паралелі зображено рівновіддаленими прямими лініями, а кола однакової довготи – прямими, що виходять з полюсів екліптики. Чималу інформацію про назви сузір'їв та окремих зір містив зоряний атлас «Побудова за Аратом» (1600 р.), упорядником тексту якого був 17-річний голландський юрист Гуго Гроцій (1583–1645), а гравюри, що зображали сузір'я, виконав Якоб де Рейн Старший (1565–1615).

У 1608 р. в Аугсбурзі німецький астроном (фактично – юрист і адвокат) Йоганн Байєр (1572–1625) опублікував свою «Уранометрію». На кожній карті цього атласу було вміщено список зір зображеного на ній сузір'я; крім того, для кожного сузір'я перелічено імена чи назви пов'язаних з ним понять із грецької міфології. Це було ефектним поєднанням якісних гравюр з добре продуманим текстом. Не випадково на надгробному камені Байєра вміщено такий текст: «Щасливими є душі, турботою яких було пізнати і піднятися у високі сфери і в яких ні Вакх, ні Венера ніякою мірою не вбивали піднесення духа. Дальше за багатьох проникнувши у простір, до нашого погляду наблизив він далекі зорі, до неба змагаючи допитливим розумом...»

Упродовж XVII–XVIII ст. було складено цілу низку зоряних атласів. Найвідомішими з них є атласи Гевелія і Флемстіда. Польський астроном Ян Гевелій (1611–1687) у своїй «Уранографії» (1690 р.) вмістив майстерно виконані дві карти півсфер і 54 карти – для кожного сузір'я. Особливістю зоряного атласу англійського астронома Джона Флемстіда (1646–1719) є те, що він у межах кожного сузір'я позначив зорі порядковими номерами, що частково використовується і сьогодні (наприклад, зоря 61 Лебедя). Згаданий атлас є складовою частиною тритомної «Британської історії неба» (посмертне видання 1725 р.).

Варте уваги, що Пікколоміні, Байер і Флемстід у своїх атласах зобразили небо так, як ми його бачимо з Землі, а Дюрер і Гевелій – як це зображається на поверхні небесного глобуса (перший варіант – «для людини», другий – «для музи астрономії Уранії»). Обидва ці варіанти співіснували довгий час.

Щодо кількості виділених на зоряному небі сузір'їв, то їх число почало істотно зростати після кругосвітньої подорожі Магеллана (1519–1521 рр.) і винайдення телескопа (1610 р.). При цьому «збагачення» Південної півкулі неба відбувалося без будь-яких суперечок чи наступних виправлень. Передовсім Йоганн Байер (1603 р.) на підставі спостережень голландського моряка Пітера Кейзера виділив тут 13 нових сузір'їв: Павич, Муха, Тукан, Журавель, Фенікс, Летюча Риба, Південна Гідра, Золота Риба, Хамелеон, Райський Птах, Південний Трикутник та Індіанець. Ян Гевелій долучив до них Південну Корону, а також сузір'я Секстант. Завершив поділ Південного неба на сузір'я французький астроном Нікола Луї де Лакайль (1713–1762), виділивши, зокрема, 14 нових сузір'їв та давши їм назви: Скульптор, Піч, Годинник, Сітка, Різець, Живописець, Жертовник, Компас, Насос, Октант, Циркуль, Телескоп, Мікроскоп, Столова Гора.

Додаткове виділення в Північній півкулі неба нових сузір'їв іноді межувало зі свавіллям, оскільки деякі астрономи надто запопадливо намагалися «увіковічнити» своїх покровителів – герцогів чи королів. Тут, передовсім, астроном (зять Й. Кеплера) Якоб Барч у 1625 р. сформував сузір'я Жирафа, Одророга і Голуба (два останні, щоправда, – у Південній півкулі). Ян Гевелій виділив сузір'я: Гончі Пси, Ящірка, Малий Лев, Рись, Лисичка і Щит Яна Собеського (воно єдине, під назвою Щит, залишилося від того, що намагалися «увіковічнити» астрономи тих часів). Як відомо, польський король Ян Собеський у битві під Віднем 1683 р., очолюючи об'єднану армію ряду країн Європи, отримав перемогу над турецькою армією.

А ось декілька прикладів сузір'їв, що зникли з карти неба. У 1679 р. Едмунд Галлей виділив з Корабля Арго «Дуб Карла» – на честь англійського короля Карла II (який нібито сховався на ньому, коли війська його батька Карла I були розбиті Олівером Кромвелем). Між сузір'ями Пегаса і Цефея французький астроном Огюстен Руайє на честь короля Людовика XIV зобразив «Скіпетр і Руку Право-

суддя». Ця спроба здійснена в 1688 р., однак «перемогла» Ящірка, яку там же розмістив Ян Гевелій (її не вдалося усунути і Йоганну Боде, який у 1787 р. там же намагався розташувати сузір'я «Слави Фрідріха», в честь Фрідріха II Пруського). Не «прижилася й «Арфа Георгія» що її на честь англійського короля Георга II в 1781 р. було утворено між Тельцем та Еріданом, зусилля ці робив англійський астроном Гелль. Не вдалося студентам Йенського університету у 1808 р. перейменувати сузір'я Оріон в сузір'я «Наполеон»!

Варто згадати, що у VIII ст. англійський монах (і відомий учений) Беда Шановний здійснив чи не першу спробу «християнізувати» небосхил. Вершиною цих зусиль стала книга німецького монаха (адвоката) Юлія Шіллера «Християнське зоряне небо» (1627 р.). Тут сузір'я Овна стало сузір'ям апостола Петра, Риб – апостола Матвія і т. д.

Розташовували на зоряному небі і Кішку (Лаланд, 1799 р.), і Самотнього Дрозда, згодом там же, поблизу хвоста Гідри, – Сову, Північного Оленя (Лемоньє, 1736 р.: між Кассіопеєю та Жирафом), і Цербера (насправді – триголову змію, Гевелій «вклав» її в руку Геркулеса), і Телескоп Гершеля (1781 р., між сузір'ями Риси й Близнят), і Настінний Квадрант (Лаланд, 1795 р., між Волопасом, Геркулесом і Драконом), і Сторожа Урожаю (Лаланд, на честь Шарля Месьє), і Сонячний Годинник (між Золотою Рибою та Гідрою, XIX ст.), і Повітряну Кулю (Лаланд, 1798 р.), і Електричну Машину (Боде, 1790 р.), і Типографію (1799 р., між Кормою та Однорогом) тощо.

Загалом на початок XX ст. на небі налічували 108 сузір'їв і 9 окремих груп зір (астеризмів) типу Плеяд та Палиці Геркулеса. На Конгресі Міжнародного Астрономічного союзу в 1922 р. кількість сузір'їв було зменшено до 88. Тоді ж було встановлено нові межі між ними, які існують і досі.

§ 9. ПРО НАЗВИ ЗІР, ПЛАНЕТ І СУПУТНИКІВ

Як зауважив Ю. С. Карпенко, космічні назви – не просто знаки, які допомагають відрізнити космічні об'єкти. Ці назви – голос історії, один з найяскравіших пам'ятників історії астрономії. Вони полегшують запам'ятовування об'єктів і водночас дають нам уявлення про те, як в минулому розуміли природу небесних тіл.

Однак «майже всі космічні назви сьогодні «мовчать». Їхній історичний смисл або взагалі прихований від сучасної людини (зоря *Вега*), або відкритий лише своїм поверхневим боком (сузір'я *Пегас*). Але якщо з'ясувати мовні зв'язки та умови появи цих назв, то вони розкажуть нам багато цікавого і повчального...»

а) Зорі. Давні греки (і це відобразив Птолемей в «Альмагесті») називали зорі, вказуючи на їх місце у фігурі сузір'я. Ось, зокрема, назви трьох зір «Ручки Ковша Великої Ведмедиці»: *Перша в хвості* (ϵ), *Середня* (ζ), *Третя, остання в хвості* (η). Цей спосіб позначення запозичили арабські астрономи. І, наприклад, ці ж зорі у відомому «Каноні Масуда» хорезмійського астронома Біруні (1030 р.) зветься так: *Корінь хвоста, Його середина, Його кінець*.

Загалом власні назви мають 275 яскравих зір. З цих назв лише 15% грецьких і 5% латинських, а 80% арабські.

Можна, однак, стверджувати, що європейські вчені спеціально залишали арабські назви для їх використання. Ось декілька промовистих прикладів. У каталозі Біруні зорі сузір'я Лебідь названо звичайним для того часу способом: *Яскрава на хвості* (α), *Груди* (γ). Зараз ці зорі мають назви *Денеб* і *Садр*, що в перекладі з арабського і означає «хвіст» і «груди». В сузір'ї Великої Ведмедиці зоря *Мегрец* (δ) «початок хвоста», *Мицар* (ζ) – «середина»; у сузір'ї Тельця зоря *Натх* (β) – «ріг» і т. д.

Загалом можна стверджувати, що найчастіше назви зір утверджувалися: а) за назвою тієї частини сузір'я, в якій вони розташовані, б) за міфологічним тлумаченням сузір'я (так, у Близнятах дві найяскравіші зорі отримали імена міфічних героїв – *Кастор* (α) і *Поллукс* (β)) і в) досить часто назва зорі вказує не на частину сузір'я, а на все сузір'я в цілому, як ось імена зір, позначених літерою α , в сузір'ях Дракона (*Тубан* – «дракон»), Зайця (*Арнеб* – «заєць»), Стрільця (*Альрамі* – «стрілець»). В сузір'ї Ворон зоря δ зветься *Алгораб* («ворон»), в сузір'ї Дракон зоря γ – *Етамін* («дракон»), в сузір'ї Лебідь зоря β – *Альбірео* («птаха», так називав це сузір'я Птолемей) і т. д.

Деякі зорі отримали свої назви за їхнім розташуванням на небі. Так, зоря α Гідри отримала назву *Альфард* («самотня»), бо в цій ділянці неба немає інших яскравих зір. З тої ж причини η Волопаса зветься *Міфрід* («єдина»). Арабське слово *Альдебаран* (α Тельця) означає «та, що йде услід», тобто рухається, «доганяючи Плеяди».

Грецька назва зорі *Прокіон* (α Малого Пса, Процион) означає «перед Псом», бо ця зоря сходить раніше від Сиріуса. Зоря *Арктур* (α Волопаса) – «сторож ведмедя».

Назва ж найяскравішої зорі земного неба *Сиріус* виводиться від грецького слова $\sigma\epsilon\iota\rho\iota\omicron\varsigma$ – «жагучий, спекотний». Римляни називали її Собачка – *Canicula*. Оскільки при появі Сиріуса вранці перед сходом Сонця наставала спека і доводилося переривати заняття в школах, то цю вимушену перерву було названо *канікулами*.

Окрему групу складають зорі, що мають великі власні рухи: зоря *Барнарда*, зоря *Грумбріджа*, зоря *Каптейна*. Зоря *Тіхо Браге* і зоря *Кеплера* – залишки спалахів наднових. Власну назву має найближча до нас зоря – Сонце. Створена вона від давнього індоевропейського кореня *saу* («світити») за тою ж схемою, що й слово віконце (з додаванням суфікса -н-, а потім і -ц-).

б) **ПЛАНЕТИ**. Особлива група небесних світил, що змінювали своє положення, переходячи з одного сузір'я в інше, була, безперечно, виділена у глибокій давнині. Згодом греки назвали їх планетами (до речі, грецьке $\pi\lambda\alpha\nu\eta\tau\eta\varsigma$ було чоловічого роду, тому й у «Ізборнику Святослава» 1073 р. мовиться «единь от 7 планить»), тобто «мандрівниками».

Услід за давніми вавилонянами й інші народи – греки, єгиптяни, перси, сирійці тощо – склали переконання, нібито планети виявляють людям волю богів. Не дивно, отже, що кожна з семи планет (в їх число залічували Сонце і Місяць) мала дві назви – наукову і божественну. Конкретно у Вавилоні Меркурій – це *Гу-уту* і зоря бога Набу, Венера – *Ділі-пат* (також – *Нін-дар-ан-на*, – «Світла Цариця Неба»), зоря богині Іштар, Марс – *Сал-бат-а-ну*, зоря бога Нергала, Юпітер – *Мулу-баббар*, зоря Мардука і Сатурн – *Кайману*, зоря Нініба.

У давніх греків (зафіксоване з VI ст. до н. е.) планети мали назви, пов'язані зі світлом, з вогнем: Меркурій – *Стілбон*, тобто «іскристий» (завжди супроводжує Сонце наче мала іскра, що відлетіла від великого вогню), Венера – *Фосфор*, тобто «та, що несе світло» (очевидно, до VI ст. до н. е. греки вважали, що є два різні світила – *Геспер*, тобто «вечірня», і *Еосфор*: «та, що несе ранок»), Марс – *Піроейс*: «вогнений, полум'яний», Юпітер – *Фаетон*: «блискучий» і Сатурн – *Файнон*: «сяючий». Приблизно з середини V ст. до н. е. греки, яким стали відомі здобутки вавилонян в дослідженні особливостей руху планет і

водночас – використання цих знань для астрологічних передбачень, перейняли в них і їхній принцип найменування планет: зоря Гермеса, зоря Афродіти, зоря Ареса, зоря Зевса і зоря Кроноса. Після 200 р. до н. е. Це вже просто *Гермес*, *Афродіта* і т. д. У свою чергу, запозичуючи астрономічні знання від греків, римляни здійснили переклад назв планет відповідно до свого пантеону богів. Так з'явилися звичні для нас назви планет *Меркурій*, *Венера*, *Марс*, *Юпітер* і *Сатурн*.

За останні 200 років було відкрито планети *Уран*, *Нептун* і *Плутон*. В. Гершель, відкривши 1781 р. сьому (зі справжніх) планету, назвав її Георгієвою зорею (на честь короля). Ж. Лаланд пропонував для неї ім'я *Гершель*, шведські астрономи – ім'я *Нептун*. Прийнято ж було ім'я *Уран*, запропоноване Йоганном Бодде. При цьому було порушено традицію називати планети латинськими іменами, бо в римській міфології для грецького бога неба Урана не було ніякого відповідника.

У 1846 р. було відкрито восьму планету. Французький астроном Урбен Левер'є (1811–1877), завдяки теоретичним зусиллям якого це відкриття було здійснене, сам же запропонував назву планети – *Нептун*. Це – бог морів у римській міфології (у грецькій – Посейдон). Нарешті, після відкриття 1930 р. дев'ятої планети їй надано ім'я грецького бога підземного царства – *Плутон* (це – брат Посейдона і Зевса).

в) **Супутники планет.** Усі планети, за винятком Меркурія і Венери, мають супутників. Однак лише супутник Землі – Місяць був відомим людям з незапам'ятних часів. Зміну фаз Місяця здавна використовувалася для лічби часу. Тому не випадково у багатьох мовах світу слово «місяць» має спільний корінь, співзвучний з коренями слів «міряти» і «небесний Місяць». Наприклад, латинські *mensis* – місяць і *mensura* – міра. В українській мові назви календарної одиниці лічби часу і небесного світила омонімічні. Для давніх греків Місяць – світило богині Селени.

Відкриття нового класу небесних світил – *супутників планет* – започатковане в січні 1610 р. Галілео Галілеєм. У 2005 р. їх відомо 156. Нововідкриті супутники отримували імена з грецької міфології, причому це були імена істот, пов'язаних (переважно родинними відношеннями) з божеством, ім'ям якого названо відповідну планету.

Планета Марс має двох супутників, це *Фобос* і *Деймос*. Їх відкрив 1877 р. А. Холл. В перекладі з давньогрецької ці імена означають відповідно «страх» і «жах», це, за міфом, – сини бога Ареса (Марса) і Афродіти, вічні супутники свого батька.

В Юпітера – 63 супутники. Для відкритих Галілеєм чотирьох супутників імена підібрав німецький астроном Симон Маріус (1573–1624): *Іо* (I), *Європа* (II), *Ганімед* (III) і *Каллісто* (IV), для п'ятого – Каміль Фламмаріон, це *Амальтея* (відкрив Е. Барнард 1892 р.), годувальниця Зевса. Наступні 11 супутників були відкриті з 1904 по 1980 р. Це *Гімалія* (VI), *Елара* (VII), *Пасіфе* (VIII), *Сінопе* (IX), *Лісітея* (X), *Карме* (XI), *Ананке* (XII), *Леда* (XIII). Цьому останньому ім'я підібрав його першовідкривач Ч. Коуел, тоді як усім іншим – німецький філолог Й. Блунк. Три відкриті 1979–1980 рр. супутники отримали назви *Теба* (XIV), *Адрастея* (XV) і *Метіца* (XVI). Усі ці імена взято з непопулярних, мало відомих міфів. Наприклад, Елара – німфа, що родила від Зевса страховисько Тітія. Пасіфе – дочка Зевса, одна з трьох грацій (харит), Метіца – перша дружина Зевса, яку він проковтнув, але яка і з його нутра продовжувала давати йому поради. Лише Сінопе – персонаж не міфологічний, а місто, що існує і сьогодні на березі Чорного моря.

До речі, закінчення –а, –я свідчить, що супутник рухається у напрямі обертання планети навколо своєї осі, закінчення –е – що його рух є протилежним цьому обертанню.

В Сатурна вже виявлено 47 супутників, хоча, за деякими даними їх там може бути ще на 6 більше. Перший, відкритий 1655 р. голландцем Християном Гюйгенсом (1629–1895) супутник Сатурна було названо *Титаном*. Так у грецькій міфології звалися діти Урана і Геї, титани були братами і сестрами Крона (Сатурна). Далі (1671–1684 рр.) чотири супутники відкрив Джан Доменіко Кассіні (1625–1712). Це – *Япет* (за міфологією батько Прометея та Атласа), *Рея* (дружина Крона), *Тетія* (божество моря) і *Діона* (мати Афродіти, дочки Зевса). Два наступні супутники виявив 1789 р. В. Гершель, який назвав їх *Енцеладом* і *Мімасом* (це – імена не титанів, а гігантів, хоча також дітей Урана і Геї). Два супутники було виявлено в XIX ст. (у 1848 р. Дж. Бонд і в 1898 р. В. Пікерінг), їх названо відповідно *Гіперіоном* (титан, божество неба) і *Фебою* (сестра титанів, божество світла). І, нарешті, 8 супутників Сатурна відкрито 1980 р. Це – *Янус*, *Атлас*,

Епіметей, Телесто, Калінсо, Електра, Прометей і Пандора, а ще один – *Пан* – 1990 р.

Уран має 27 супутників, причому перші два відкрив 1787 р. В. Гершель. Однак при доборі назв для них міфологічну традицію було порушено, можливо, тому, що «найближчі родичі» Урана – «його діти» (титани і гіганти) дали назви супутникам Сатурна. Тому В. Гершель назвав відкриті ним супутники Урана *Обероном* і *Титанією* (відповідно цар ельфів та його дружина з комедії Шекспіра «Сон у літню ніч»). У. Ласселл, відкривши другу пару супутників 1851 р., назвав їх *Аріель* та *Умбріель*.

Перше ім'я взяте з п'єси Шекспіра «Буря» (Аріель – «дух повітря»), друге – з поеми англійського поета А. Попа, утворене воно від латинського слова *umbra* – тінь. П'ятий супутник був відкритий 1948 американським астрономом Дж. Койпером (1905–1973), який і дав йому ім'я *Міранда* – це знову ж таки персонаж «Бурі», дочка колишнього міланського герцога. Згодом, у 1985–1986 рр. за допомогою КА «Вояджер-2» було виявлено ще 10 супутників Урана, які отримали ті ж, «шекспіровські» назви: *Корделія, Офелія, Біанка, Крессіда, Дездемона, Джульєта, Порція, Розалінда, Белінда і Пак*.

До речі, склалося так, що в усіх трьох планет – Юпітера, Сатурна і Урана – нумерація супутників не відповідає їхньому розподілу з відстанню від планети: у всіх трьох випадках близькі до планети і менші за розмірами тіла вдавалося виявити пізніше, ніж більші і дальші від неї.

Планета Нептун має 13 супутників. Перший з них був відкритий у 1846 р. англійцем Вільямом Ласселом (1799–1880) усього через 18 днів після відкриття планети. Його названо *Тритон* (морське божество, син Посейдона-Нептуна). Другий супутник виявив у 1949 р. Дж. Койпер, його назва – *Нереїда* (нереїди – дочки бога морів Нерейя, одна з них, Амфітріта, була дружиною Посейдона). *Наяда, Таласса, Деспіна, Галатея, Ларисса і Протей* – відкриті «Вояджером-2» (1989 р.). Ці власні назви є іменами істот, так чи інакше пов'язаних із міфологічними владиками океанів, морів і рік.

І, нарешті, Плутон має трьох супутників. *Харона* виявив 1978 р. американський астроном Дж. Крісті. За легендою, Харон перевозив душі померлих через ріки підземного царства Плутона.

г) **МАЛІ ПЛАНЕТИ (АСТЕРОЇДИ)**. В основному між орбітами Марса та Юпітера навколо Сонця обертається не менше 30 000 невеликих небесних тіл діаметром більше 1 км і сотні мільйонів – з діаметром меншим 1 км. Для близько 4000 з них, так званих малих планет або астероїдів, визначено параметри орбіт, придумано власні назви.

Першу і найбільшу з малих планет (її діаметр 1003 км) відкрив 1 січня 1801 р. Дж. Піацці. Він, щоправда, вважав, що це – звичайна планета. Однак у 1802, 1804 і 1807 рр. було виявлено ще три такі ж об'єкти приблизно на тій же відстані від Сонця. Виникло питання про загальну назву для них. Піацці запропонував термін планетоїди або кометоїди. Однак більш вдалою була пропозиція В. Гершеля: *астероїди* або аорати (це друге від гр. *αόρατος* – невидимий), тоді як перше означало «зореподібний»). Тоді ж австрійський астроном Йозеф Літтров (1781–1840) з грецьких імен Юпітера і Марса створив слово зенарейд (родовий відмінок імені Зевс – *Ζηνός* плюс Арес). У вжитку залишилися два рівноправні терміни: астероїд і мала планета.

Астероїдові 1 Піацці надав ім'я *Фердинандова Церера*, надалі, однак, було залишено лише його другу частину (Церера – богиня землеробства, покровителька Сицилії). Астероїд 2 названо одним із імен богині Афіни – *Паллада*, 3-й отримав ім'я *Юнони*. Так було започатковано традицію надавати астероїдам жіночі імена з античної міфології. Однак вже 12-й об'єкт (1850 р.) було названо *Вікторією* на честь англійської королеви. Загалом у першій сотні астероїдів (100-й об'єкт відкрито у 1868 р.), 75 імен – міфологічних, 8 імен було взято з реального життя, 11 мають географічні назви (використано античні назви деяких міст і країн, як ось *Лютеція* (21) – давня назва Парижа), декілька імен створено зі слів, що виражають радість, очікування, згоду тощо: *Летиція* (39) – від латинського *laetitia* – «радість», *Мелета* (56) – від грецького (*μελέτη* – «турбота», *Елтіс* (59) від грецького слова, що означає очікування, *Конкордія* (58) – від лат. *concordia* – «згода» і т. д.

У другій сотні астероїдів – з міфологічними іменами менше двох третин, у третій – менше половини, в четвертій – менше 30 (400-й астероїд було виявлено 1895 р.). Наприкінці XIX ст. їм почали присвоювати жіночі імена, не пов'язані з міфологією. Невдовзі астероїдам, орбіти яких виходять за межі орбіт Марса і Юпітера (або, рухаючись по орбіті Юпітера, утворюють з ним, спереду і

позаду нього, два рівносторонні трикутники: спереду – «греки», їх поіменовано 15, ззаду – «троянці») – чоловічі імена. Першим (1898 р.) астероїдом, названим чоловічим іменем, став *Ерос* (433), більша частина орбіти якого є всередині орбіти Марса. Як і в ряді інших випадків, є ще один такий же астероїд (1221, відкритий 1932 р.), ім'я якого має те ж значення, однак – римське: *Амур*.

Вдалим є назва астероїда *Ікар* (1566), виявленого 1949 р., що більше за інших наближається до Сонця (міфічний Ікар, син Дедала, тому й загинув...). Між орбітами Сатурна й Урана знаходиться астероїд Хірон (№ 2060), відкритий 1977 р.

Певний час, надаючи астероїдам імена вчених, трансформували їх до жіночого роду: *Піація* (1000), *Гауссія* (1001), *Ньютонія* (662), *Планкія* (1069). З 30-х років ХХ ст., однак, стає традицією давати чоловічі прізвища без змін: *Коперник* (1322), *Герцішпрунг* (1693), *Гершель* (2000), *Ейнштейн* (2001).

Поруч з прізвищами людей для найменування астероїдів широко вживаються географічні назви: *Атлантида* (1198), *Амазонка* (1042), *Австрія* (136), *Україна* (1709). Є й аббревіатури: *КраО* (1725) – Кримська астрофізична обсерваторія, є імена персонажів художніх творів і назви самих творів, героїні опер і назви цих творів: *Кармен* (558), *Аїда* (861), є науки: *Геометрія* (376), *Астрономія* (1154), ботанічні назви: *Магнолія* (1060), *Мальва* (1072) тощо.

Деякі з малих планет отримали імена українських вчених, це, зокрема, *Братійчук* (3372), *Гершберг* (2327), *Климишин* (3653), *Конюльова* (3965), *Стешенко* (2238), *Цесевич* (2498), *Шульназарія* (4187) (на честь Л. М. Шульман і Г. К. Назарчук), *Яцків* (2728) (див. додаток 4).

Загалом ім'я астероїдові пропонує дослідник, який її відкрив. Ця пропозиція розглядається Комісією Міжнародного астрономічного союзу і затверджується Генеральною асамблеєю МАС.

д) **КОМЕТИ.** Ім'ям комети стає прізвище вченого чи аматора астрономії, який її відкрив. Якщо відкривачів декілька, то в назву вводиться не більше трьох прізвищ: наприклад комета *Кобаясі-Бергера-Мілона* (1975). Першою, очевидно, отримала власне ім'я комета *Галлея*. Цей учений довів, що яскраві комети 1531, 1607 і 1682 рр. були одним і тим же об'єктом і що ця комета знову з'явиться в грудні 1758 р., що й сталося.

§ 10. ПРИНЦИПИ НАЙМЕНУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНІ МІСЯЦЯ, МАРСА І ВЕНЕРИ

Після винайдення телескопа доступною для детального вивчення стала поверхня Місяця, автоматичні ж міжпланетні станції зробили можливим (з 1964 р.) вивчення поверхонь Марса і Венери, як також поверхонь супутників планет (зворотного боку Місяця – з 1959 р.). Це, у свою чергу, привело до появи *астротопонімів* – власних назв різних об'єктів та деталей поверхні Місяця, планет і їх супутників, які вдалося надійно зафіксувати.

а) **ПОВЕРХНЯ МІСЯЦЯ.** Сьогодні власні назви мають близько 1500 об'єктів поверхні Місяця. Першим селенографом став Галілео Галілей, який зробив п'ять зарисовок поверхні Місяця і назвав світлі ділянки *материками*, а темні – *морями*. Однак створення селенотопонімів започаткував бельгійський математик Мішель ван Лангрен (1600–1675). На його карті Місяця (1645 р.) понад 300 об'єктів було названо іменами біблійних пророків, християнських святих, членів іспанської королівської родини. З них збереглися лише імена трьох кратерів – *Катаріна*, *Кирилл* і *Теофіл*. Ці три імена належать відомим релігійним діячам IV–VI ст. з м. Александрії (два останні були єпископами). Мали свої назви і «моря», як ось була назва: *Море Астрономів* (сучасне *Море Холоду*).

Близько 250 назв помістив на карті Місяця у своїй «Селенографії» (1647 р.) Ян Гевелій. Він «переніс у свою карту назви земних морів (як ось *Понт Евксинський*), гір і міст. Нинішні кратери *Коперник*, *Тіхо*, *Фалес*, *Ендиміон* він назвав: *Острів Сицилія*, *Синай*, *Сарматські гори*, *Гіперборейське озеро*. Однак такий принцип найменувань не було прийнято. З усіх цих назв збереглися лише імена місячних гір *Альпи* та *Апенніни* і трьох гірських виступів.

У 1651 р. в книзі «Новий Альмагест» італійського астронома Джованні Річчолі (1598–1671) була опублікована карта Місяця, складена його співвітчизником Франческо Грімальді (1618–1663). Ця книга стала своєрідною енциклопедією астрономічних знань того часу, можливо, тому запроваджені в ній назви об'єктів поверхні Місяця були прихильно сприйняті іншими астрономами, понад 200 цих назв збереглося дотепер.

На карті Грімальді вперше з'явилися *Море Доців*, *Море Криз*, *Море Нектару*, *Море Хмар*, *Море Спокою*, *Море Ясності* (але згодом

були усунуті такі назви «суші» – світлих ділянок поверхні Місяця, як *Земля Здоров'я*, *Земля Бадьорості*, *Земля Життя* тощо). Вдало були названі кратери: їх Грімальді позначив іменами вчених, чим, як визнано, розпочав перетворювати Місяць у пантеон науки. Понад 200 учених були увіковічені в назвах кратерів, причому Грімальді розподілив їхні імена у напрямі з півночі на південь у хронологічному порядку – від античних часів аж до моменту складання карти.

Нові 70 назв з'явилися на карті Місяця, складеній у 1791 р. німецьким юристом і аматором астрономії Йоганном Шретером (1745–1816). Ще 140 – на карті (1836 р.) німецького астронома Йоганна Медлера (1794–1874). Тут вже є кратери *Ньютон*, *Гаусс* та ін. (за традицією, імена вчених присвоюють кратерам лише посмертно). Однак у XIX і XX ст. майже кожний упорядник карти Місяця намагався в той чи інший спосіб вжити нові назви, іноді перейменовуючи окремі об'єкти. Це свавілля було припинено 1932 р., коли IV з'їзд МАС затвердив 632 назви найбільших об'єктів видимої з Землі частини поверхні Місяця.

З 1959 р., після того як автоматична міжпланетна станція «Луна-3» (СРСР) вперше сфотографувала зворотний бік Місяця, розпочалася копітка робота зі складання «Атласу зворотного боку Місяця» на основі тих же принципів, які вироблено історично для його видимого боку. Так, зокрема, там з'явилися об'єкти-кратери, що мають імена *Яковкін*, *Гаврилов* (див. додаток 4).

Однак і тепер далеко не всі об'єкти поверхні Місяця мають власні назви (безіменними все ще є навіть деякі кратери з діаметром 50 км). Їх прийнято позначати за назвою найближчого кратера з додатком: 1) для кратерів і долин – латинських літер А, В, С, ..., 2) для висот – грецьких літер α , β , γ , ..., 3) для тріщин – римських цифр з літерою **r** (лат. *rima* – тріщина).

Загалом найменуванням (як і встановленням координат) деталей на поверхні Місяця, планет земної групи і супутників планет в рамках Міжнародного Астрономічного Союзу займається декілька проблемних груп. Вони виробляють рекомендації щодо нових назв деталей і пропонують їх Виконавчому комітетові МАС, який їх і затверджує.

б) **ПОВЕРХНІ ПЛАНЕТ ЗЕМНОЇ ГРУПИ.** Історично першими були зусилля скласти карту поверхні Марса – на основі телескопічних,

наземних спостережень. Таку першу карту вдалося скласти 1877 р. італійському астроному Джованні Скіапареллі (1835–1910), опублікована вона в його праці «Топографія планети Марс» (1879 р.). І хоча з 1965 р. відомості про поверхню Марса істотно доповнилися і все уточнюються, за основу сучасної карти Марса взято саме працю Скіапареллі. Темні плями, як і на Місяці, Скіапареллі назвав морями, яскраві ділянки – материками (континентами) дрібніші темні плями серед них – озерами й оазисами. Наприклад, є тут моря Південне, Кіммерійське, Тірренське, Іонійське, плато «материки» Елізіум, Кебренія, Еліданія, Електрис, Мемнонія, Етерія, рівнини Хриса, Утопія, Кидонія, кільцевий утвір Nix Olimpica («Олімпійські сніги») – найбільша (діаметром 500 км) вулканічна кальдера в Сонячній системі, як також «басейн» (діаметр 1600 км) Геллас та інші, менші за розмірами. Принципово новими, порівнюючи з картами Скіапареллі та іншого дослідника Марса француза Ежена Антоніаді (1870–1944), об'єктами стали кратери. Як і на Місяці, їх прийнято називати іменами діячів науки і техніки.

Номенклатура топографічних деталей на Марсі була затверджена XV з'їздом МАС (1973 р.). Близько 200 найбільших кратерів (з діаметром понад 100 км) отримали імена відомих вчених, які або безпосередньо займалися вивченням Марса, або сприяли кращому розумінню природи планети. На карту Марса нанесено імена, зокрема, фізиків А. Беккереля, Г. Гельмгольца, Е. Резерфорда, біологів Ч. Дарвіна, Г. Менделя, Л. Пастера, є тут ім'я Х. Колумба і Ф. Магеллана, письменника-фантаста Г. Уеллса тощо. І – близько 150 імен астрономів, серед них кратер Барабашов. Іншим кратерам з розмірами понад 20 км (їх близько 6000) дано буквені позначення.

Щодо Меркурія, то окремі деталі його поверхні були зауважені ще Дж. Скіапареллі. У 1934 р. Е. Антоніаді склав карту Меркурія, на якій, за традицією, деталі було названо іменами героїв грецької та римської міфології, переважно пов'язаної з богом торгівлі Гермесом. Ці назви здебільшого зберігаються і сьогодні. То ж на карті Меркурія є Аполлонія – країна брата Гермеса, Галлія – його священний птах, Киллена – гора в Аркадії, де за міфом народився Гермес, пустеля Афродіти, пустелі Прометея і Персефони, Атланта, Фенікса, Геліоса, Майї, Юпітера, Марса і Лікаона. Було вирішено для меркуріанського рельєфу використовувати імена діячів

гуманітарного напрямку – письменників, поетів, художників, композиторів. Так з'явилися на карті цієї планети кратери Бетховен, Бах, Гете, Достоевський, Чайковський тощо. Лише як виняток – хребет Антоніаді і ще – Скіапареллі. Долинам присвоюють імена радіо-астрономічних обсерваторій, як ось долина Симеїз. Рівнини отримали назви богів різних народів, що відігравали ту ж роль, що й Меркурій у міфології римлян: рівнини Один і Тир. Нарешті, круті обриви – ескарпи, що мають протяжність сотні і тисячі кілометрів і висоту 2–3 км, мають імена дослідницьких суден: Санта-Марія, Мирний тощо.

Поверхню Венери вдалося вивчити за допомогою радіолокаційних методів, причому найдетальніше – з борту штучного супутника планети. Як виявилось, на ній є окремі висоти, ця поверхня густо всяїна кратерами. Як і в попередніх випадках, використовують імена, пов'язані з міфами та легендами, але тут, як правило, жіночі. Тому є на карті Венери Земля Іштар, Земля Афродити, низина Атлантида, каньйон Артеміди, кратер Клеопатри. Є й реальні імена вчених, як ось кратер Лізе Майтнер (австрійський фізик-дослідник радіоактивності) (див. додаток 4).

в) ПОВЕРХНІ СУПУТНИКІВ ПЛАНЕТ. В найменуванні об'єктів, виявлених на поверхнях супутників планет є такі особливості. Так, у випадку супутника Марса Фобоса кратери названо іменами вчених, які доклали зусиль або в пошуку супутників цієї планети, або отримали певні результати при їх дослідженнях. Тому маємо на поверхні Фобоса кратери Д. Арре, Рош, Стікні (дружина А. Холла Хлоя Енджеліна, яка наполегливо «вимагала від свого чоловіка, щоб він відкрив супутники Марса»), Тодд (американський астроном, який отримав 7000 фотографій Марса), Шарплесс та ін. Двом кратерам на Деймосі надані імена англійського письменника Джонатана Свіфта (1667–1745) і французького письменника Вольтера (1694–1778). Перший в «Мандрах Гуллівера» (1786 р.) писав, нібито астрономи літаючого острова Лапута відкрили два супутники Марса, один з яких звершує оберт за 10 год, другий – за 21,5 год. Вольтер у романі «Мікромегас» (1752 р.) зауважив, що Марсу необхідні принаймні два супутники, бо одного було б замало, щоб освітлювати планету вночі; герої роману справді спостерігають у Марса два супутники...

Для супутників інших планет було вирішено використовувати головним чином міфи й легенди різних народів. Однак при цьому для кожного супутника зокрема назви деталей повинні бути пов'язані з одним конкретним міфом чи художнім твором. Домовлено не використовувати імена людей сьогодення, як також імена політичних і релігійних діячів та полководців. Виняток становлять діячі давніх релігій, що нині не визнаються. Саме так встановлено назви об'єктів для 5 супутників Юпітера і 9 – Сатурна, 5 супутників Урана і 2 – Нептуна.

Так, зокрема, для трьох супутників Урана назви взято за Шекспіром, для інших двох – відповідно імена світлих і темних духів з міфів народів світу. Наприклад, кратери на Умбріелі мають назви: Ельберіх (нім.: карлик, який стеріг золото нібелунгів), Фін (датськ.: троль, який допомагав будувати церкву в Калунборзі), Гоб (англ.: король гномів), Мінепа (африк.: злий дух), Вунда (австрал.: злий дух), Злидень (укр.: злий дух) тощо. Кратери на супутнику Урана Оберон мають назви Антоній, Цезар, Коріолан, Фальстаф, Гамлет, Лір, Макбет, Отелло, Ромео. Каньйон – Момур («лісовий дім Оберона і Хуона»). Кратери на Титанії мають імена жіночих персонажів з творів В.Шекспіра: Адріана (в «Комедії помилок» – дружина Антіфоля Ефеського), Бона (в «Генріху IV» – сестра французької королеви), Кальпурнія (в «Юлії Цезарі» – дружина Юлія Цезаря), Елеонора (в «Королі Джоні» – вдова короля Генріха II), Гертруда (в «Гамлеті» – мати Гамлета, королева датська), Марина (в «Періклі» – дочка Перікла), Валерія (в «Коріолані» – подруга Вергілія) і т. д. За імена каньйонів узято місця з творів Шекспіра: Бельмонт (з «Як вам це сподобається»), Мессіна (з «Багато галасу даремно»).

Частина I. ЗАРОДЖЕННЯ АСТРОНОМІЇ

Ми нічого не знаємо про зародження астрономії і можемо лише здогадуватися, яким чином деякі з найпростіших наукових фактів, особливо ті, що мали безпосередній вплив на людське життя, поступово увійшли у свідомість первісного людства.

Артур Беррі.

Величезний з точки зору розвитку людської культури проміжок часу близько 4000 років, упродовж якого змінили себе, одне за одним, 200 поколінь, – такою за тривалістю була епоха зародження і становлення астрономів. Це тоді, осмислюючи окремі факти і явища навколишньої дійсності, людина поставила перед собою мету навчитися передбачувати їх, як також – збагнути суть і природу всього, що її оточує.

Водночас вона, людина, намагалася збагнути своє місце у Всесвіті. Однак перебуваючи лише на початку шляху до пізнання законів світобудови, вона упродовж століть фактично була змушена задовольняти цю свою потребу міфологічними елементами, переплетеними з найпримітивнішими уявленнями про навколишню дійсність. Ось декілька прикладів з того, що загалом отримало назву *первісної космології*.

Давні єгиптяни уявляли собі, що Земля має форму великої прямокутною долини, яка простяглася з півночі на південь. Посередині долини нібито протікає Ніл. Долину оточують гори, там тече небесний Ніл, по якому плаває човен бога Сонця. Плоске залізне небо з підвішеними на ньому зорями тримається на чотирьох стовпах... Аналогічно у Давньому Вавилоні сформувалося уявлення, за яким Земля має вигляд опуклого круглого острова, що плаває у всесвітньому Океані. На земну поверхню нібито опирається небо – тверде склепіння (порожня півкуля з твердого каменю), до якого прикріплено зорі і планети та по якому здійснює свою щоденну мандрівку Сонце.

У стародавньому Китаї вважали, що Земля має форму плоского прямокутника, над яким на стовпах підтримується кругле випукле небо. За легендою, озлоблений дракон зігнув центральний стовп,

унаслідок чого Земля нахилилася на схід, тому всі ріки в Китаї течуть на схід; небо ж нахилилося на захід, і через те всі небесні світила рухаються зі сходу на захід. В Китаї сформувалося уявлення, за яким світ побудований з п'яти першоелементів («стихій») – води, вогню, металу, дерева і землі, що нібито перебувають у русі, взаємозв'язку і циклічному підпорядкуванні: вода гасить вогонь, вогонь розплавляє метал, метал рубає дерево, дерево росте в землі, земля породжує воду. Кожна зі стихій володіє подвійністю (дуальністю) – позитивними і негативними якостями. Наприклад, вода все живить, але може і зруйнувати його і т. д.

В персів та деяких інших народів Сходу існувало уявлення про яйцеподібну будову світу: шкаралупа зображувала небосхил, білок – атмосферу, жовток – Землю. За одним із давньоіндійських уявлень, земну півкулю підтримують чотири слони, які стоять на велетенській черепаші. За іншим, першою з усіх речей була вода, якою заповнювався увесь світовий простір. Згодом вода захвилювалася і стала пінитися. З піни з'явилося яйце, яке розкололося, і з нього вийшов бог Брахма. Одна з двох половин яйця стала небом, друга – землею.

Якщо ж говорити про космологію давніх греків, то першою з відомих спроб звести її до єдиної системи є поема Гесіода «Теогонія» (між 725 і 650 р. до н. е.). У ній говориться, що спочатку існував лише вічний, безмежний і темний Хаос. З нього виник увесь світ і безсмертні боги. З Хаосу походить і богиня Землі Гея, як також – всеоживляюча Любов – Ерос, вічний Морок – Ереб і темна ніч – Нюкта. Від Ночі і Мороку постали вічне Світло – Ефір і світлий День – Гемера, після чого день і ніч почали змінювати одне одного. Далі Земля породила блакитне небо – Уран, яке і розкинулося над Землею...

РОЗДІЛ I. ЕЛЕМЕНТИ ПАЛЕОАСТРОНОМІЇ

§ 1. Найдавніші археологічні пам'ятники

Можна стверджувати, що саме в намаганні зберегти і передати наступним поколінням набуті знання про методи орієнтації в часі і просторі, як і свої загальні уявлення про світобудову, давні люди увіковічували їх у певних будівлях (храмах, пірамідах тощо) і особливо у конфігураціях встановлюваних ними кілець чи віяло-

подібних рядів кам'яних стовпів або просто велетенських (як у Перу) малюнків на поверхні Землі. Сьогодні ж окрема галузь археології – **археоастрономія** (мегалітична астрономія чи **палеоастрономія**) вирішує зворотню задачу: за особливостями будови та орієнтації тих чи інших археологічних пам'ятників з'ясовує рівень астрономічних знань їх будівничих, а в окремих випадках і конкретні задачі, що їх могли за допомогою цих прадавніх споруд вирішувати їхні творці.

Передусім привертають увагу кільця й ряди встановлених вертикально каменів. Для опису цих споруд використовують спеціальну термінологію. Так, продовгуватий камінь (або плита), встановлений вертикально, має назву **менгір** (від бретонського *men* – камінь і *hir* – довгий). Менгіри є типовими для неолітичної епохи і навіть бронзового віку (тобто для інтервалів часу відповідно 10 000–3700 та 3700–2800 років тому). Вони трапляються на просторах планети від атлантичних берегів Європи (Великобританія, Франція, Іспанія) до островів Тихого океану (Японія, Меланезія), як також в Африці. Висота цих кам'яних стовпів – від 1 до 5 м. В одних місцях є поодинокі менгіри, в інших виявлено кільця з таких кам'яних стовпів, знайдено також немало місць, де вони розташовуються довгими рядами або ж віялоподібно.

Декілька систем віялоподібних рядів менгірів виявлено в околицях Карнаку (Бретань, Франція). Зокрема, система Ле-Менека налічує 12 збіжних рядів довжиною 1167 м, які тягнуться від одного кільця каменів до залишків іншого (Дж. Вуд, 1981). Тут привертає увагу Великий Розбитий Менгір, що, за переказом, декілька сотень років тому впав після землетрусу і розбився на чотири куски. Його довжина – 20,5 м, вага – 330 т.

Кільця з менгірів названо **кромлеками** (від бретонського *crom* – коло і *lech* – місце). Лише на Британських островах виявлено понад 900 кромлексів. Найбільше з цих кам'яних кілець діаметром 370 м (всередині якого було ще два кам'яні кільця діаметром по 103,6 м) є на півдні Англії в Ейвбері. Там до XIV ст. (коли навколишні жителі почали роздрібнювати менгіри на куски для їх використання як будівельного матеріалу) налічувалося понад 170 менгірів (тепер залишилося 43), причому вага найбільших із них перевищувала 40 т.

Найвідомішою з цих мегалітичних споруд, що мають кільцеподібну структуру, є Стоунхендж. Розташований він на південному

заході Англії на рівнині Солсбері. В перекладі його назва звучить як «висячі камені». Згодом такі «замкнуті простори» названо *хенджами* незалежно від того, є всередині них кромлехи, чи ні. Сам же Стоунхендж заслуговує окремого обговорення.

Не до кінця з'ясовано розташування й призначення *курганів* (з тюркського – «насип») – пагорбів висотою від 10–20 см до 10–20 м. Очевидно, вони є залишками надмогильних споруд, які зводили з кінця неоліту до часів Середньовіччя і які початково мали форму конусів, зрізаних пірамід, циліндрів або призм. Найпростіші з татарських курганів мали у своїх основі квадрат, в кутах якого встановлювали менгіри. Споруду орієнтували за сторонами світу (І. Л. Кизласов, 1989). Як гадають, така основа кургану символізувала земний світ, його ж висота давала вертикальне сприйняття Всесвіту, тоді як могильна яма відтворювала підземний світ мертвих. В Середній Азії та Південному Сибіру навколо курганів трапляються круглі загороди більшого діаметра з кам'яних стовпів, що також є своєрідними кромлехами. Однак вивчення цих археологічних пам'яток, зокрема щодо їхньої можливої ролі як своєрідних астрономічних орієнтирів, лише розпочалося.

Найбільший у світі курган, як виглядає, – це Сілсбері-Хілл, що знаходиться північніше (приблизно на 30 км) від Стоунхенджа. Тут зберігся круглий могильник (а вік споруди перевищує 4500 років) зі зрізаним верхом висотою близько 40 м і площею 2,2 га. Всередині виявлено стіни з крейдяних блоків, однак там немає жодних слідів поховань. І, таким чином, призначення цієї археологічної пам'ятки (її об'єм становить близько однієї десятої від об'єму піраміди Хеопса, на спорудження затрачено 5000 людино-років роботи) залишається цілковитою загадкою.

Опис давніх курганів, що їх досліджено на території України (межірччя Дніпра та Інгульця, Дніпра і Дністра, лівий берег Нижнього Дунаю), здійснив Ю. О. Шилов (1992). Деякі могильники оточені кромлехами, а, отже, їх могли використовувати і для астрономічно-календарних спостережень.

Оскільки ж тут йде мова саме про камені та їх продумано встановлені групи, то доречно згадати і *літолатрію* – поклоніння каменям, що виникло в багатьох народів у доісторичні часи. Серед

цих *бетилів* («помазаних каменів» чи «одушевлених каменів») було багато метеоритів.

Очевидно, на думку давніх людей, це мали б бути уламки «небесної тверді», уявлення про яку було широко розповсюджене.

Особливо багато прикладів поклоніння каменям дає історія грецької релігії. Оброблені бетили греки іменували *палладіями* (тобто присвяченими богині Афіні Палладі) або *ксоанами*. У давній Греції дуже поширеним було ворожіння на ксоанах: камені вкладали на ноші і тлумачили їхнє погойдування.

Вшановували бетили, зокрема метеорити, і в давньому Римі. Так, метеорит, що впав у Галатії (де він використовувався як елемент культу фрігійської богині Місяця і плодючості Кібели), було перевезено в Рим і проголошено державним символом «великої матері богів» – Реї, причому було встановлено навіть урочисте свято – мегалезії. У 191 р. навіть споруджено храм для цієї богині. Інший метеорит близько 218 р. перевезено імператором Аврелієм Антоніном з Емеса в Рим, де його вшановували як сирійського бога Сонця Елагабала.

За легендою, з небесного каменя з'явився один із засновників релігійної течії Мітра. Індуси у вигляді каменів вшановували богиню Шішти (покровительку дітей) і бога Шиву. Але найвідомішим є метеорит Хаджар-ель-Асвад, якому і сьогодні вклоняються мусульмани в Каабі – святилищі Мекки (І. М. Ковшун, 1977).

Астрономи з великою увагою аналізували археологічні пам'ятники давнього Єгипту. Виявлено, зокрема, що піраміди в Гізі орієнтовані так, що дві їх протилежні сторони вказують на точку сходу Сонця в день весняного рівнодення. Вісь храму Амона-Ра в Карнаку (у давніх Фівах) спрямована на точку сходу Сонця в день літнього сонцестояння. Що ж стосується давньовавилонських башт – зіккуратів, з вершин яких, найімовірніше, проводилися астрономічні спостереження, то вони не збереглися.

Серед значно скромніших археоастрономічних пам'яток Старого Світу варто ще згадати наскальні зображення сузір'їв на площадках Малого Мецаморського горба недалеко (250 км) від Єревана, як також про кам'яні кільця Зорац-Кар, що були встановлені у II тисячолітті до н. е. і, очевидно, використовувалися для визначення моментів рівнодень і сонцестоянь (Е. С. Парсамян, 1988).

З неабияким здивуванням познайомилися європейці з пірамідами та іншими архітектурними пам'ятниками Нового Світу. Так, зокрема, у 15 містах, побудованих майя від 500 р. до н. е. до 300 р. н. е., виявлено спеціальні майданчики для спостерігачів і системи з трьох храмів або стел (кам'яних стовпів, покарбованих ієрогліфами), якими якраз фіксували напрями на точки сходу Сонця у дні рівнодень та сонцестоянь. І все ж не завжди вдається з певністю встановити призначення тої чи іншої споруди. Це, скажімо, стосується і дивовижної павутини з білих смуг в пустелі Наска недалеко від м. Куско (в Перу), що спостерігається з літаків. Усього тут виявлено 93 прями лінії, одні з них мають довжину близько 26 м, інші – 182 м, деякі – декілька кілометрів. З них 23 смуги розбігаються від спільного центра. Створені ці лінії добором каменів різного кольору: будівничі старанно відсували темні камені вбік, тоді як світлі залишали на місці, щодо деяких з ліній, то можна вважати, що вони мали завданням вказувати наставання рівнодень і сонцестоянь (а, отже, відлічувати проміжки часу). Однак призначення виявлених там же гігантських малюнків квітки, павука (довжина 45 м), ящірки (200 м), птахів, риб та інших морських тварин все ще незбагненне.

§ 2. Стоунхендж – ОБСЕРВАТОРІЯ КАМІННОГО ВІКУ.

Як згадано вище, на південному заході Англії (географічна широта $\varphi = 51,2^\circ$), розташований Стоунхендж – «восьме чудо світу», гігантська мегалітична споруда, вік якої сягає 4000 років. Серед інших кромлехів він – найнеповторніший і найвеличніший, його руїни дивують і водночас лякають відвідувачів.

У центрі цієї споруди лежить камінь розмірами $4,8 \times 1 \times 0,5$ м (його умовна назва «вівтарний камінь»). Навколо нього у формі велетенської підкови з поперечником близько 15 м стоять п'ять **трилітів**. Кожен з них складається з двох вертикальних каменів, на які покладено третій. Висота трилітів – 6, 6,5 і 7,2 м – зростає до центра підкови; вага каменів сягає 40–50 т. Відстань між вертикальними каменями трилітів не перевищувала 30 см.

Триліти були охоплені кільцем з 30 вертикальних обтесаних каменів, кожен з яких мав висоту близько 5,5 м, ширину – 2,1 м, товщину понад 1 м та вагу приблизно 25 т. На цих закопаних у землю на глибину 1,2 м опорах було покладено кільце горизонтальних плит,

кожна з яких важила приблизно 7 т. Діаметр цього так званого *сарсенового кільця* – 29,6 м.

Поза сарсеновим кільцем є відповідно (рис. 1. 1)

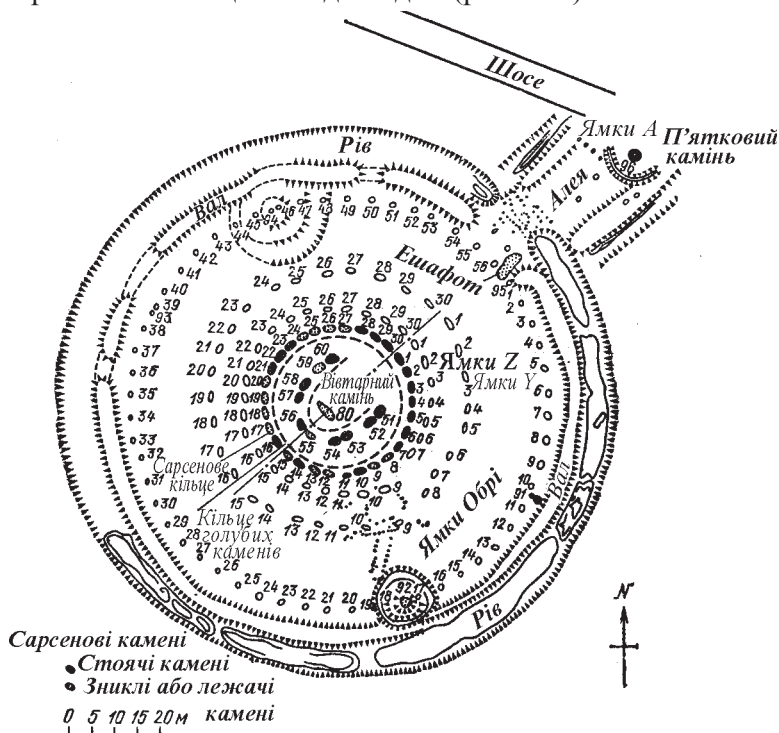


Рис. 1. 1. Загальний план Стоунхенджа.

1) кільце діаметром близько 40 м, яке складається з 30 ямок (умовно воно було назване кільцем Z);

2) кільце діаметром близько 53,5 м, що також складається з 30 ямок (кільце Y); ямки здебільшого мали прямокутну форму, їхня середня глибина досягала 90 – 100 см;

3) так зване *кільце Обрі* діаметром 88 м. Складається воно з 56 *ямок Обрі*, причому діаметри самих ямок і їхні глибини неоднакові: від 0,8 до 1,8 м та від 0,6 до 1,2 м. Вперше ці ямки виявив у XVII ст. Джон Обрі – один із дослідників Стоунхенджа. Розкопки показують, що всі ці ямки невдовзі після того, як їх викопано, були знову засипані, причому ямки Обрі – роздрібненою крейдою.

Далі за кільцем Обрі йшов «внутрішній» вал – грандіозне кільце шириною близько 6 м, висотою принаймні 1,8 м та діаметром приблизно 100 м. Висипано цей вал зі сліпучо білої крейди. І, нарешті, весь комплекс був оточений зовнішнім валом (його діаметр 115 м, ширина насипу 2,5 м, висота близько 70 см), за яким було ще кільце окремих ям кар'єрів, звідки, власне кажучи, брали матеріал для валу.

Вхід у Стоунхендж шириною близько 10 м був з північного сходу, куди й відкривалася підкова трилітів. Саме там, на відстані приблизно 85 м від центра комплексу стоїть кам'яний стовп – менгір висотою 6 м та вагою 35 т (його ще названо *П'ятковим каменем*, хоча ніякої заглибини у формі п'яти на ньому насправді немає). Є тут ще й декілька інших «опорних каменів» – орієнтирів менших розмірів безпосередньо за кільцем Обрі, які утворюють прямокутник, симетричний відносно центра споруди.

Вже давно висловлено здогад, що Стоунхендж був своєю астрономічною обсерваторією. До такого висновку неважко було дійти, оскільки спостерігач з центральної площадки комплексу бачить крізь одну з арок сарсенового кільця, що в день літнього сонцестояння Сонце сходить саме над менгіром. В усі наступні (як і попередні) дні точка сходу Сонця розташована справа від менгіра, а за півроку вона описує вздовж горизонту дугу 78° . Можна було зробити висновок, що будівничі Стоунхенджа, реєструючи схід Сонця над менгіром, відмірювали проміжки часу між літніми сонцестояннями. І, отже, вони могли вести облік часу за кількістю тропічних років, тобто користуватися сонячним календарем.

На початку 60-х років ХХ ст. англійський астроном Джеральд Хокінс (довгий час працював у США) за допомогою електронно-обчислювальної машини зіставив напрямки на всі наявні у Стоунхенджі орієнтири з положенням на небі окремих світил в моменти їх сходу і заходу. Як виявилось, практично всі «привілейовані» напрями вказують місце сходу і заходу Сонця і Місяця в певні пори року, конкретно – в моменти літнього і зимового сонцестоянь. При цьому було враховано, що завдяки обертанню лінії вузлів місячної орбіти (період – 18,61 року) схилення повного Місяця в момент зимового сонцестояння періодично змінюється від $+18,7^\circ$ до $+29^\circ$, а в момент літнього сонцестояння від $-18,7^\circ$ до -29° . Розрахунки, проведені Дж. Хокінсом для 1600–1400 рр. до н. е., їх результати й відповідний

аналіз викладені у трьох статтях 1963–1966 рр., а також у книжці Дж. Хокінса та Дж. Уайта (1973 р.).

Було розроблено декілька варіантів можливого використання Стоунхенджа як своєрідної обчислювальної машини для передбачення настання сонячних і місячних затемнень (Ф. Хойл, Дж. Хокінс, І. А. Климишин). При моделюванні руху Місяця навколо Землі кільце ямок Обрі могли використовувати для фіксації (за допомогою кількох каменів) положення лінії вузлів місячної орбіти відносно Сонця (воно моделюється П'ятковим каменем), а кільце ямок Y (або Z) – для встановлення фази Місяця.

Як зауважив Дж. Вуд, «якщо такі спостереження справді велися, то спостерігачі повинні були бути інтелектуально високорозвинутими людьми. Але чи на достатньому рівні був розвиток людей у 2000 р. до н. е.? Відповідь на це питання майже напевне буде: «Так».

Невдовзі численні туристи поруч з руїнами Стоунхенджа матимуть змогу побачити, яким він був 3500 років тому (рис. 1. 2).

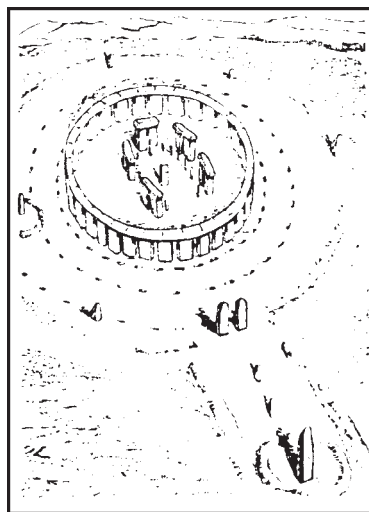


Рис. 1. 2. Реконструкція Стоунхенджа

§ 3. Про коло Зодіаку

Серед питань, що стосуються зародження астрономії, особливої уваги заслуговує час і місце складання уявлення про пояс зодіакальних сузір'їв (взагалі про поділ Північної півкулі неба на окремі сузір'я вже мовилося вище). Одним з найновіших і найдоступніших для широкого кола читачів є аналіз цього питання, здійснений О. А. Гурштейном (1992), результати якого і прийнято тут як найбільш достовірні.

Отже, якщо говорити про коло зодіакальних сузір'їв, тобто про «коло тварин» (перехід до 12 рівних, по 30° дуг, «знаків Зодіаку», за всіма даними, відбувся після 700 р. до н. е.), то передусім звертаємо увагу на те, що майже половина назв (5 з 12) насправді до тваринного

світу не відноситься: це Близнята, Діва, Терези, Стрілець і Водолій. У цьому, як виявляється, відображений процес становлення їхніх назв.

Аналізуючи питання про походження та еволюцію системи знаків Зодіаку, О. А. Гурштейн узяв за основу розмірковувань потребу давніх астрономів (мусимо виділити їх із найзагальнішого поняття «людей») фіксувати небесні ділянки, в яких «тоді» перебували точки весни, літа, осені й зими. Найімовірніше, групу зір, де у вказані моменти перебувало Сонце, встановлювали при спостереженнях безпосередньо перед сходом Сонця через 25–30 діб після того, як ця астрономічна подія (рівнодення, літнє сонцестояння і т.д.) відбулася. Прийнято до уваги, що внаслідок прецесії приблизно через кожні 2000 років (точніше – 2140 р.) точки весни, літа і т.д. зміщуються серед зодіакальних сузір'їв за годинниковою стрілкою на 30°. І, подруге, що перші чотири сузір'я, в яких перебували ці чотири точки, могли бути виділені (враховуючи всі наявні свідчення про самоусвідомлення й розвиток культури давніх людей) близько 5500 років до н. е. Нарешті, певним критерієм у встановленні того, котре зодіакальне сузір'я було виділене раніше, а яке пізніше, напевне, є площа (у кв. град.) сузір'я (береться до уваги, що кожного разу це – квартет: в одному з них перебуває точка весняного рівнодення, в іншому – літнього сонцестояння і т.д.).

В цілому картина є такою: близько 6000–4000 рр. до н. е. точки весни, літа, осені і зими перебували відповідно в сузір'ях Близнят, Діви, Стрільця і Риби (це – «квартет Близнят»), в роках 4000–2000 – в сузір'ях Тельця, Лева, Скорпіона та Водолія відповідно, в роках 2000–1 рр. до н. е. – в сузір'ях Овна, Рака, Терезів та Козорога (відповідно «квартет Тельця» і «квартет Овна»). Площа кварталів така: Близнят – 890, Тельця – 805 і Овна – 475 кв. град. Така ж закономірність є і щодо максимальної протяжності сузір'їв у проекції на екліптику та відповідно – щодо тривалості перебування Сонця в них.

Тому логічним є припущення, за яким «квартет Близнят» – група першого покоління зодіакальних сузір'їв. Бо, «оскільки зорі сузір'їв фіксувались в умовах чистої, ще не поділеної на інші сузір'я небесної сфери, то розміри сузір'їв першого покоління неминуче були великими». Формували їх у середині VI тисячоліття до н. е., «можливо, в ареалі поширення загальноіндоевропейської культури, хоча це питання заслуговує спеціального розгляду».

А ось якою є символіка першого зі згаданих квартетів, у сузір'ях якого перебувають точки весни (Близнята), літа (Діва), осені (Стрілець) та зими (Риби). Три з цих сузір'їв – антропоморфні (людино-подібні). І тут береться до уваги те, що верховним божеством загальноіндоєвропейського пантеону було Сонце, був також культ дітей бога-Сонця – «Великих близнят», брата і сестри, від яких нібито почався людський рід. А що весна є природним початком майбутнього річного циклу, то саме Близнята як джерело народження нового життя могли стати символом весняного відродження природи. Назва сузір'я Діви етимологічно близьке до термінів, якими в багатьох індоєвропейських народів позначають божество. Давньоіндійське *devan*, литовське *divus*, давньопрусське *deiws* (бог), латинське *divus* (божественний) походять від індоєвропейського кореня **di-el-ow* – день, світло. Від палеоліту до ранньоземлеробських суспільств образ жінки – носія плодючості був надзвичайно поширеним: фігурки вагітних жінок, здається, були в кожному житловому приміщенні. То ж Діва (зображалася завжди з колоскам в руках) була символом літньої родючості й достатку. У свою чергу, Стрілець «підстрілює» Сонце, яке (тому) перетинає екліптику і розпочинає наближатися до нижнього, загробного світу. І, нарешті, взимку висота Сонця над горизонтом найменша, воно наче б то «зупиняється» біля порога загробного світу, символом стихії якого – води – і могли бути Риби. Привертає увагу те, що всі чотири сузір'я «квартету Близнят» є, по суті, бінарними (Близнят – двоє, Діва – з колоском, Стрілець – це кінь плюс вершник, Риб – дві).

Оскільки близько грані V і IV тисячоліть до н. е. внаслідок прецесії чотири найістотніші точки екліптики змістилися з відведених для них площадок неба, то з'явилася потреба (визнавши або «помилки батьків» або ж «волю богів») заново виділити на екліптиці нові чотири ділянки, де якраз перебували тоді ці точки. Тепер символи сузір'їв принципово інакші, і загалом відповідають назві «коло звірів»: Телець, Лев, Скорпіон і Водолій. За головний символ для весни прийнято тельця (молодого бика, що є символом плодючості) – свідчення весняного відродження природи. Лев (символ верховної влади) засвідчував досягнення Сонцем найвищої точки екліптики. Скорпіон (нічний павук) «вращав» Сонце, яке при зустрічі з ним розпочинало своє занурення у води Океану. Водолій, як і Риби,

маючи конкретне відношення до водяної стихії, засвідчував перебування Сонця на порозі потойбічного загробного світу.

Після 2000 р. до н. е. відбувся аналогічний перехід до «квартету Овна» (Овен, Рак, Терези, Козоріг). Тут, однак, символіка є вже художньо-алегоричною. Щоправда, Овен (баран) вказує на важливу роль вівчарства в житті давніх людей, він також є символом плодючості, але й – символом весняної (у євреїв – пасхальної) жертви. Рак є алегоричним втіленням зміни напрямку руху Сонця, Терези (в руках богині справедливості) вказували момент вирівнювання дня й ночі. Вавилонський Козоріг був перевізником померлих у загробний світ, у грецькому зодіаку він став звичайним козлом – Козорогом (тут є певна паралель щодо тягара гріховності між «світом померлих» і «світом живих»: у євреїв «козел відпущення» звільняє віруючих від морального тягара в той спосіб, цю після покладання первосвященником на нього рук і сповідання усіх гріхів народу, він несе ці гріхи у пустелю (див. Біблію, кн. Левіт, 16: 21–22).

Загалом проблема становлення сузір'їв ще далека від вирішення, яке до того ж може здатися мало зрозумілим із точки зору сьогодення. З одного боку, важко уявити, скажімо, що давні люди аж через дві тисячі років давали назви наступним ділянкам приєкліптичних сузір'їв. З другого ж, є підстави стверджувати (про це свідчить історія давньогрецької астрономії), що поділ неба на сузір'я стався буквально (якщо в цілому розглядати) перед початком нової ери. На певні роздуми наштовкує щодо цього і те, що наші предки спромоглися виділити на небі менше десяти груп зір: Плуг (Оріон), Волосожар (Гіади в Тельці), Квочка (Плеяди в Тельці), Хрест (Лебідь), Борона (Кассіопея), Віз (Велика Ведмедиця), Пасіка (Мала Ведмедиця). До аналогічного висновку приходимо, розглядаючи цей стан і в інших народів (див. хоча б М. Gladyszowa, 1960).

РОЗДІЛ 2. АСТРОНОМІЯ В ДАВНЬОМУ ЄГИПТІ

Єгипетська цивілізація – одна з найдавніших. Кажучи словами Наполеона, минулі тисячоліття її історії дивляться на нас з висоти пірамід. Список 30 царських династій, що правили Єгиптом з (орієнтовно) 3000 по 330 роки до н. е., був складений жерцем Манефоном (IV–III ст. до н. е.).

Тут прийнято виділяти такі історичні проміжки:

Раннє царство: I–II династії, бл. 3000–2800 рр. до н. е.

Давнє царство: III–VI династії, 2800–2263 до н. е.

I Перехідний період: VII–перша половина XI династії, 2263 – 1900 рр. до н. е.

Середнє царство; XI–XII династії, 1900–1785 до н. е.

II Перехідний період: XIII–XVII династії, 1785–1580 до н. е.

Нове царство: XVIII–XX династії, 1580–1085 до н. е.

Пізній період: XXI–XXVI династії, 1085–525 до н. е.

Після правління чотирьох (XXVII–XXX) династій Ахеменідів і завоювання Єгипту Александром Македонським (332 р. до н. е. – початок 30 р. до н. е. – елліністичної епохи) тут з 305 по 31 рр. н. е. правила династія Птолемеїв, після чого Єгипет став провінцією Риму.

Є підстави вважати, що саме єгиптяни першими винайшли писемність. Спочатку це було ієрогліфічне письмо (так його згодом назвали греки: від *ιερός* – священний і *γλυφή* – тешу), згодом з'явилося ієратичне письмо (*ιєρατικός* – священний, жрецький, бо вживалося для записів у храмових книгах) і лише в VII ст. до н. е. і спрощене демотичне письмо (від *δημος* – народ). Перше з них використовувалося понад 3500 років, останній ієрогліфічний напис датується кінцем IV ст. н. е.

Однак що стосується єгипетської астрономії, то вона, як зауважив О. Нейгебауер (1968, с.92), «виявила значно менший вплив на зовнішній світ з тої простої причини, що протягом своєї історії вона залишалася на винятково незрілому рівні...». З цієї причини про неї мало мовиться в монографіях з історії астрономії. Наш текст складено головним чином за працями Б. Ван-дер-Вардена (1991) та Г. Є. Куртика (1990).

§ 1. ЄГИПЕТСЬКА АСТРОГНОЗІЯ

Найбільш раннім джерелом, що містить певну астрономічну інформацію («знання зоряного неба»), є «Тексти пірамід» – релігійна пам'ятка XXV–XXIV ст. до н. е. Далі – ще так звані зоряні календарі, знайдені на внутрішньому боці дерев'яних кришок домовин з епохи I Перехідного періоду. Тексти з певним астрономічним змістом збереглися також на стінах і стелях гробниць та храмів, в кенотефах

(фальшивих гробницях, де поховання не здійснювалися) і навіть на водяних і сонячних годинниках та інших інструментах.

Аналіз усіх цих текстів приводить до висновку, що астрономія як цілісна система поглядів, елементи якої взаємообумовлюють один одного, у Давньому Єгипті ніколи не існувала. Очевидно, знання зоряного неба, особливостей руху Сонця та Місяця потрібне було єгиптянам і в додинастичний період, зокрема для створення певної календарної системи. Однак нічого конкретного про це невідомо. Загалом же з усіх можливих напрямів лише два – створення календарів і вироблення методів для визначення часу – єгипетськими астрономами були доведені до справді досконалого рівня.

Передовсім з «Текстів пірамід» видно, що в епоху Давнього Царства окремі сузір'я в Єгипті були об'єктами релігійного вшанування. Зоряне небо поділялося єгиптянами на північну та південну частини, причому межею поділу вважалася екліптика, а не небесних екватор. І символічні зображення сузір'їв розміщувалися на стелях гробниць, де вони збереглися до нашого часу.

Загальна назва сузір'їв північної частини неба – «Північні боги неба», а тих, що не заходили за горизонт, «незруйновні». Серед символів згаданих сузір'їв, намальованих на стелях гробниць, є Бегемотиха (самка гіпопотама, найчастіше з крокодилом за спиною), Ан – сокологолове божество, іноді з диском над головою, є тут сузір'я богині Серкет – жіноча фігура з диском над головою, сузір'я Лева – лев, спина, голова і хвіст якого іноді всипані зорями, є сузір'я Ман – людиноподібне божество з піднятими руками. Однак лише одне з них – сузір'я Мес ототожнено з Великою Ведмедицею.

Групи зір південної частини неба відігравали роль показчиків часу вночі – деканів (§ 3). Їхні зображення знайдено на стелях багатьох гробниць. Зокрема, у гробниці Сенмута – канцлера цариці Хатшепсут (близько 1500 р. до н. е.) зображене божество у човні з трьома великими зорями над ним; три великі зорі внизу мали б зображати пояс Оріона, коли він сходить над горизонтом. Тут же, внизу, – Озіріс, божество сузір'я Оріон, позаду нього – Ізіда, богиня Сиріуса, що йде услід за Озірісом.

Привертає увагу та обставина, що зодіак (коло зодіакальних сузір'їв) не згадується в текстах принаймні до 480 р. до н. е. І лише у Птоlemeївську епоху, коли Єгипет став центром астрології та

астрономії, стіни і стелі храмів заповнюються астрологічними символами та знаками зодіаку. Щоправда, найвідоміші з них – це зображення сузір'їв з храму богині Хатор в Дендері, побудова якого була закінчена при імператорі Тіберії (14–37 рр. н. е.).

Загалом, як зауважив О. Нейгебауер, «розташування астрономічних прикрас на стелі визначалися художніми принципами. Тому спроба знайти на небі групи зір, положення яких збігалося б із розміщенням намальованих сузір'їв, є безнадійною».

Що ж стосується планет, то, як впливає з усіх наявних текстів, давні єгиптяни ними практично не цікавилися. Зауважено, що Птолемей в «Альмагесті» не наводить жодного єгипетського спостереження, проведеного хоча б у VI–V ст. до н. е.

Щоправда, вже в «Текстах пірамід» є згадка про «ранкову зорю» – Венеру. Назву Юпітера відчитано в одній з гробниць часів XI династії. Про чотири планети (без Марса) йдеться у списку на стелі гробниці Сенмута, тоді як Марс вперше згаданий на стелі гробниць Сеті I і Рамзеса II (XIII ст. до н. е.).

На давньоєгипетських пам'ятниках назви планет, як правило, супроводжуються символічними зображеннями божеств, з якими їх співвідносили. Три верхні планети вважалися втіленнями Хора (сина Озіріса та Ізиди). Ось назви Юпітера: «Його ім'я Хор, який обмежує Обидві Землі», «Його ім'я Хор, який освітлює Обидві Землі», «Його ім'я Хор, який відкриває таїнства»; Сатурна: «Його ім'я Хор – бик небес»; Марса: «Хор горизонту», «Червоний Хор». В ранніх текстах символічним зображенням Хора була соколиноголова людина, що стоїть у човні. Меркурій ототожнювали з ворожим божеством Сетом (брат-убивець Озіріса). Його зображали людською фігурою зі звірячою головою. Венера ж на ранніх пам'ятниках зображалася чаплею; її назва перекладається як «Перетинач» або «Зоря, яка перетинає». Згодом у назві відображено її роль як ранкової зорі. Її символічно зображали у вигляді божества з двома головами чи двома обличчями, хоча вечірнє положення планети ніде з певністю не зафіксоване. Про Меркурій же в тексті з гробниці Рамзеса VI (XX династія) мовиться як про «Сета у вечірніх присмерках, бога в ранкових присмерках».

В давньоєгипетських текстах планети поділено на дві групи. Тому є припущення, що укладачі цих текстів знали про різницю в русі

верхніх і нижніх планет, навіть більше – що вони склали уявлення, за яким Венера і Меркурій обертаються навколо Сонця і разом з ним – навколо Землі. І що в назві «Перетинач» відображається знання давніх єгиптян про видиме неозброєним оком проходження Венери через диск Сонця (ця подія настає з інтервалами $8 - 105\frac{1}{2} - 8 - 121\frac{1}{2} - 8 - 8 - 121\frac{1}{2}$ років). Якраз зображенням цієї події мав би бути загальноприйнятий в астрономії символ Сонця – кільце з крапкою в центрі, який зустрічається в єгипетських текстах, але якому ніякого пояснення в єгиптологічній літературі немає.

§ 2. СТРУКТУРА ЄГИПЕТСЬКИХ КАЛЕНДАРІВ

Особливості господарського життя єгиптян та їхніх релігійних традицій обумовили співіснування упродовж понад два тисячоліття декількох календарних систем. Зокрема, в одній із них (місячно-сонячний календар) лічба часу узгоджувалася зі зміною сезонів сонячного року, в іншій (365-денний рік) цей зв'язок цілковито ігнорувався, однак така система відзначалася математичною простотою.

Сезони «нільського року». Життя давніх єгиптян було скупчене на смузі землі шириною від 8 до 50 км з обох боків могутньої ріки, назва якої має спільний корінь з поняттями «загадковий», «таємничий». Ніл – найдовша ріка земної кулі (6671 км), і близько $\frac{5}{6}$ її тече за межами Єгипту (у римлян вираз *caput Nili quaerere* – «шукати витoki Нілу» – був символом даремних зусиль). Щорічний розлив Нілу був головною подією в житті давніх єгиптян: його води з липня по листопад (за нашим календарем) затоплювали долину ріки, перетворюючи її в довге вузьке озеро. І лише на висотах, що ставали на цей час островами, тіснилися населені пункти, міста. Рівень води поблизу Мемфіса (ця давньо-єгипетська столиця знаходилася приблизно на 30 км на південь від Каїра) зростав у середньому «на 16 ліктів» (тобто на 8 м). Коли ж неспокійна ріка в середині листопада знову входила в свої береги, єгиптяни розпочинали сівбу ячменю та емеру (пшениці-двозернянки), через два місяці вони вже збирали врожай. З березня ж з боку пустелі Сахари протягом близько 50 днів дув сухий гарячий вітер (згодом араби назвали його хамсин (шамсин), що й означає «п'ятдесят»), який приносив із собою темні хмари піску і який спалював усе живе. А невдовзі наставав черговий розлив Нілу.

Таким чином, увесь річний цикл у давніх єгиптян складався з трьох сезонів: наводнення – *ахет*, «виходу» землі з-під води, періоду сільськогосподарських робіт – *перет* і періоду низької води – *шему*.

Ці три сезони повторювалися регулярно з року в рік, причому в середньому тривалість кожного з них становила 4 місяці. Однак вона могла коливатися через запізнення в часі приходу води та від неоднакової кількості. Як вже з'ясовано, інтервал між двома розливами – так званий «нільський рік» – змінювався в межах від 11 до 14 синодичних місяців упродовж одного покоління. Варте уваги і те, що найвищого рівня вода досягала біля першого порога близько 1 вересня, тоді як у дельті Нілу – через місяць. Звичайно, доки Єгипет складався з окремих номів, дуже слабо поєднаних між собою, ці коливання не мали істотного значення. Однак після об'єднання Верхнього і Нижнього Єгипту, що сталося на межі IV–III тис. до н. е., коли складалася єдина система адміністративного управління, з'явилася потреба в регулярній системі лічби часу. Першою з них, найімовірніше, був місячно-сонячний календар, який і вживали давні єгиптяни упродовж усієї давньоєгипетської історії як календар релігійний.

Ранній місячно-сонячний календар. Найдавніші свідчення про використання єгиптянами місячного календаря походять з епохи Давнього Царства. З часів IV династії (XXVIII–XXVI ст. до н. е.) в *мастабах* (гробницях царів і вельмож) з'являються списки щомісячних святкових жертв. Як з'ясовано, назви місяців у цьому календарі були пов'язані з назвами релігійних свят, що їх відзначали у цьому місяці в дні певних фаз Місяця. Так, перший місяць року було названо за *святим текхі*, третій за іменем богині Хатор. У назвах місяців була відображено і зв'язок календаря із сезонами року.

Згодом єгиптяни розробили так званий «схематичний» календар, в якому тривалість року була рівною 365 діб. Назви його місяців доречно навести вже тут:

- | | | | |
|----------|----------|------------|------------|
| 1. Тот | 4. Хойяк | 7. Фаменот | 10. Пайні |
| 2. Фаофі | 5. Тібі | 8. Фармуті | 11. Епіфі |
| 3. Атир | 6. Мехір | 9. Пахон | 12. Месорі |

Їх ієрогліфічне зображення показано на рис. 1. 3.

Як виявилось, первісні назви чотирьох місяців збереглися і надалі, це Атир, Хойяк, Фармуті і Пахон. Інші назви місяців відображали зв'язок із сезонами року: в них було зафіксовано порядок

1.		= Thoth
2.		= Phaophi
3.		= Athyr
4.		= Choiak
5.		= Tybi
6.		= Mechir
7.		= Phamenoth
8.		= Pharmuthi
9.		= Pachon
10.		= Payni
11.		= Epephi
12.		= Mesori

Рис. 1. 3. Зображення місяців давньоєгипетського календаря.

сільськогосподарських робіт. Зокрема, назва п'ятого місяця перекладається як «ріст емеру», восьмого – «збір урожаю». На це вказують самі ієрогліфічні зображення місяців. Бо ж коли дивимось на перші чотири з них, то ніби відчуваємо шелест листя якоїсь екзотичної рослинності, від інших чотирьох чуємо подих розжареної пустелі, від третіх – плескіт хвиль розбурханої могутньої ріки.

А це означає фактично, що цей давньоєгипетський календар був місячно-сонячний. Його місяці були пов'язані з сезонами тому, що давні єгиптяни здійснювали регулярні вставки (*інтеркаляції*) 13-го місяця. Їх засвідчено вже в часи правління IV династії, відомості про це виявлено також у списках храмових служб часів XII династії. Рік з 13 місяців у давньоєгипетських текстах іменується «великим».

За гіпотезою Р. Паркера (США), необхідність вставки 13-го місяця визначалася на підставі спостережень геліакічних сходів Сиріуса – зорі Сотіс, чи точніше – Сопдет. Давні єгиптяни це явище назвали «відкривачем року» і урочисто його святкували. Вставки 13-го місяця вони проводили так, щоб утримати схід Сотіс завжди в одному і тому ж місяці місячно-сонячного календаря. Здійснювалося це за правилом: якщо схід Сотіс спостерігався в останні 11 днів 12-го місяця, то вставлявся 13-й місяць, який присвячувався богові Місяця Тоту. Перший день місячного року збігався з першим днем невидимості Місяця, який трапився безпосередньо після сходу Сотіс, якщо рік був «звичайним» (з 12 місяців), або з днем невидимості після закінчення вставного місяця, якщо була небезпека, що в майбутньому році дата сходу Сотіс вийде за межі першого місяця.

Щоправда, ніяких правил вставки 13-го місяця кожні 3 (рідше – 2) роки не знайдено.

«Рік Сиріуса». Єгиптяни виявили, що Сиріус – найяскравіша зоря нічного неба – щороку зникає у вечірній заграві, щоб приблизно

через 70 діб з'явитися вранці перед сходом Сонця. Цей факт було включено в загальну систему їхніх релігійних уявлень: «Озіріс гине від руки свого брата Сота і на 70 діб (тому стільки якраз тривало бальзамування померлих) сходить у підземне царство. Ізіда оплакує його – свого брата і чоловіка, і її сльози спричиняють розлив Нілу».

Тому спостереження першої появи Сиріуса вранці перед сходом Сонця (див. § 7 Вступу, с. 37), відігравали особливу роль в історії давнього Єгипту, про що є свідчення вже з часів I династії. У текстах пізнішого періоду сходи Сиріуса згадуються неодноразово: 1) як провісники розливу і 2) як подія, що вказує на початок року.

І тут привертає увагу неповторна ситуація, що обумовлювала тривалість «року Сиріуса». Геліакічний схід зорі настає, коли Сонце перебуває на одній і тій же глибині під горизонтом $h = -11^\circ$. За рахунок процесії координати Сиріуса безперервно змінювалися: у 3000 р. до н. е. $\alpha = 3^h 06^m$, $\delta = -22,5^\circ$; у 2000 р. до н. е. – відповідно $3^h 50^m$ і $-19,4^\circ$, у 1980 р. н. е. $\alpha = 6^h 44^m$ і $\delta = -16,7^\circ$. Внаслідок цього безперервно змінювалася висота світила у верхній кульмінації, а точка сходу Сиріуса зміщувалася в бік точки сходу Сонця. Однак проміжок часу між двома геліакічними сходами Сиріуса, тобто «рік Сиріуса», від 4500 до 500 р. до н. е. залишався практично незмінним і рівним 365,25 доби. Тому на географічній широті Мемфіса ($\varphi = +30^\circ$) геліакічний схід Сиріуса припадав увесь цей час на 19 липня юліанського календаря (продовженого назад).

Оскільки ж тривалість тропічного року є меншою (= 365,2422 доби), то від століття до століття геліакічний схід Сиріуса зміщувався відносно дня літнього сонцестояння – і отже, розливу Нілу, запізнюючись на одну добу за кожні 125 років. Так, у 4000 році до н. е. геліакічний схід Сиріуса спостерігався за 6,6 доби до літнього сонцестояння (тобто за 7 діб перед 22 червня сучасного григоріанського календаря), у 3500 – за 3,2 доби, у 3000 вже 0,4 доби після сонцестояння, а в I році н. е. – через 25,2 доби після нього. В наші дні геліакічний схід Сиріуса в Єгипті спостерігається близько 4 серпня, тобто через 43 дні після літнього сонцестояння.

Очевидно, вже десь у 4-му тисячолітті до н. е. давні єгиптяни усвідомили зв'язок моменту геліакічного сходу Сиріуса та розливу Нілу і використали це явище для передбачення початку згаданого розливу. Зокрема – для завершення підготовки усії іригаційною

системи, що включала водосховища, канали, греблі та шлюзи, як також для своєчасною евакуації людей з долин на навколишні пагорби. Однак з плином часу цей геліакічний схід Сиріуса могли використовувати лише для визначення тривалості року. Тому можна розглядати як данину далекому минулому той факт, що будівничі вже згаданого храму богині Хатор у Дендері помістили на його стіні такі написи:

*«Божественна Сотіс викликає Ніл до початку року,
Сотіс велична блищить на небі, і Ніл виходить з берегів своїх,
Божественна Сотіс викликає розлив Нілу в його верхівцях».*

СХЕМАТИЧНИЙ ГРОМАДЯНСЬКИЙ КАЛЕНДАР. Згаданий вище місячний календар з його неупорядкованою системою вставок, як і «нільський рік», тривалість якого довільно змінювалася через коливання моментів розливів ріки, були незручні в керуванні державою, оскільки тут час у днях до якоїсь майбутньої події (хоча б терміну сплати податків), як правило, неможливо було вказати наперед. Очевидно, з цієї причини єгиптяни створили надзвичайно просту календарну систему: рік тривалістю 365 діб, що складався з 12 місяців по 30 діб плюс 5 додаткових днів (згодом греки назвали їх епагоменами – «тими, що над роком»). Кожний місяць складався з трьох 10-денних тижнів. Рік поділявся на три сезони по 4 місяці в кожному, і вони мали ті ж назви, що й сезони пов'язаного зі сходами Сиріуса місячного календаря. Нумерація місяців у кожному сезоні велася окремо, як це видно з рис. 1. 3. Як зауважив О. Нейгебауер, цей календар фактично є єдиним розумним календарем в усій людській історії, оскільки це строго фіксована шкала часу без будь-яких вставок. «Визначення числа днів між віддаленими на 50 років днями нового року за грецьким чи вавилонським календарем є серйозною задачею. В Єгипті цей інтервал просто дорівнює 50 по 365. Не дивно, що єгипетський календар став в астрономії стандартною системою вимірювань і зберіг цю роль аж до середніх віків аж до використання його Коперником у місячній та планетній таблицях».

Оскільки «рік Сотіс» становить 365,25 доби, а в згаданому календарному році налічується 365 діб, то за кожні 4 роки схід Сиріуса в цьому календарі зсувається на один день вперед. Нехай в якийсь момент часу початки обох років збігаються: геліакічний схід Сиріуса стався 1-го Тота. Через 4 роки цей схід Сиріуса ніби «затримається»

і буде спостерігатися вже не 1-го Тота, а 2-го і т.д. За 40 років, тобто за час життя одного покоління, початок року відійде від геліакічного сходу Сиріуса на 10 діб вперед: ранковий схід Сиріуса буде видно не 1-го, а 11-го Тота. За 400 років ця розбіжність вже становить 100 діб, за 1460 років початок єгипетського Нового року (1 Тота), послідовно пройшовши через усі пори року, повернеться у вихідне положення. Цей проміжок часу було названо *періодом Сотіс* або *Великим роком*, а збіг геліакічного сходу Сиріуса з 1-м Тота – *апокатастазом* (від гр. «повернення на попереднє місце»).

Якщо «схематичний календар» було введено в момент апокатастазу, то це найімовірніше могло статися в 2782 р. до н. е. (два інші такі збіги припали на 1322-й і 4241-й р. до н. е.). Однак якщо творці календаря сумішали 1-ше Тота з 1-м днем місячно-сонячного календаря, то це сталося раніше – в інтервалі 2937... 2821 р. до н. е. Є підстави стверджувати, що цей громадянський і місячно-сонячний календарі вживалися упродовж усього династичного періоду.

Двічі володарі Єгипту намагалися здійснити календарну реформу замінили «блукуючий рік» стабільним, в якому налічувалося б 365,25 доби. Перший раз це було за правління Салатіса (XV династія), вдруге – за Птолемея III Евергета. Однак ці спроби були невдалими: сильнішою виявилася традиція. Сталий александрійський рік тут введено у 26 р. до н. е. після завоювання Єгипту римлянами (30 р. до н. е.).

Як згадувалось, у більшості випадків місяці єгипетського календаря були присвячені тим чи іншим богам. І залежно від того, що, за уявленнями єгиптян, трапилося з богами в той чи інший день місяця, цей день міг бути «щасливим» або, навпаки, «поганим». Перелік (календар) таких днів був складений в роки правління фараона Рамзеса II (XIX династія: 1314... 1200 р. до н. е.). Ось два уривки з нього:

«День п'ятий місяця Фаофі – дуже небезпечний день... Ні в якому разі не виходь у цей день з дому. Не наближуйся ні до якої жінки.

День сімнадцятий місяця Тібі. Дуже нещасливий день. Не купайся в цей день ні в якій воді...»

Пізній місячний календар. Є підстави стверджувати, що в Єгипті, починаючи з середини 3-го тисячоліття до н. е. було введено «пізній» місячний календар. Місяць у ньому (з 29 або 30 діб) розпочинався в перший день невидимості Місяця. Однак вставки

13-го місяця здійснювали з орієнтацією не на дату сходу Сиріуса (як у давнішому варіанті а на 1-ше Тота «блукуючого року» так, щоб утримати початок місячного року в межах місяця Тота. Внаслідок цього дати місячного календарного року зміщувалися по сезонах разом із громадянським 365-денним роком, назви місяців в обох системах були однаковими.

Взаємозв'язок цих двох календарних систем має вигляд:

25 єгипетських років = 9125 діб = 309 синодичних місяців.

Оскільки ж насправді 309 синодичних місяців становлять 9124,95 доби, то похибка в одну добу нагромаджувалася за кожні 525 років.

§ 3. ЄГИПЕТСЬКІ ДЕКАНИ

Важливою проблемою, яка виникла вже в Давньому царстві і яка була пов'язана з потребою визначати час нічних богослужінь (а деякі з них мали звершуватися строго у визначені моменти) у храмах, було вимірювання часу вночі. Бо ж ці нічні богослужіння були релігійною формою співучасті єгиптян в тому, що, за їхніми уявленнями, відбувалося у світі невидимому; зокрема, це – співпереживання з проходженням бога Сонця Ра через 12 частин підземного царства, де його очікували різні несподіванки. Черговий схід Сонця розглядали як його нове народження, яке може і не відбутися, якщо сили смерті візьмуть верх.

Діагональні календарі. Проблему вимірювання часу вночі єгиптяни розв'язали створенням зоряного годинника, що згодом отримав назву діагонального календаря. Такі календарі (їх знайдено загалом 12) розміщували на внутрішній стороні кришок саркофагів принаймні з часів ІХ і Х династій (близько 2100 р. до н. е.).

Суть методу полягає у спостереженні геліакічних та акронічних сходів (і верхніх кульмінацій) окремих зір та їхніх невеликих груп – греки згодом назвали їх *деканами*, самі ж єгиптяни іменували їх «баранами». Таких деканів на небі налічувалося 36. Ними в принципі могли бути ділянки зоряного неба шириною близько 10° , які розташовувалися нижче екліптики так, щоб, як і в Сиріуса, період їхньої невидимості досягав 70 діб. В одному з коментарів з гробниці Сеті I (близько 1300 р. до н. е.) детально описано, як декани один за одним «умирають» (після геліакічного заходу), «очищуються» в домі

бальзамування в підземному царстві з тим, щоб «відродитися» при геліакічному сході після 70 діб невидимості.

Можна уявити, що першим деканом S був Сиріус, геліакічний схід якого в певний момент спостерігається на світанку, через декілька днів стає помітним, що декан з'явився над горизонтом, а світанок ніби затримується. Через 10 діб у променях ранкової зорі зійде вже 2-й декан – T, ще через 10 діб 3-й – U і т. д., тоді як попередні встигають піднятися над горизонтом все вище. В середньому за ніч, від заходу до сходу Сонця, з-за горизонту підіймається 18 (з 36) деканів. Однак єгиптяни ніччю вважали час повної темряви, тобто виключали з неї вечірні та ранкові присмерки, тривалість яких (зокрема) на широті Єгипту рівна $1^h 14^m$ в рівнодення і $1^h 29^m$ влітку. Тому приймали, що упродовж ночі над горизонтом з'являється (сходить) 12 деканів.

Якщо розглядати появу деканів над горизонтом від вечора до ранку, то схід 1-го (умовно) декана (в певний момент року) вказує на початок 1-ої години ночі, схід услід за ним 2-го декана – 2-ої години і т.д. Однак через 10 діб 1-й декан до кінця присмерків вже встигає дещо піднятися над горизонтом, і на початок ночі сходить 2-й декан, ще через 10 днів – 3-й і т. д. Це дозволяє скласти таблицю появи деканів над горизонтом на увесь рік залежно від години ночі і 10-денки (насправді враховували і 5 додаткових днів) у такому вигляді:

Таблиця 1

Діагональний календар

36	4	3	2	1	Десятиденка
						Години ночі
36	...	4	3	2	1	1
1	...	5	4	3	2	2
2	...	6	5	4	3	3
3	...	7	6	5	4	4
...
11		15	14	13	12	12

Цю таблицю і було названо *діагональним календарем*. Однак такий зоряний годинник не може довго правильно вказувати годину ночі, оскільки тропічний рік (період зміни сезонів) триває 365,24 доби, тоді як рік єгипетського календаря (на конкретні дати якого

обчислювали сходи конкретних деканів) – 365 діб. Тому за кожні 40 років наставало зміщення сходів деканів відносно вихідних на 10 діб: декани, які сходили в 1-й декаді, тепер сходили у тому ж порядку в 2-й і т.д. Такі виправлення справді виявлено, і це свідчить, що принаймні в епоху IX–XII династій ці таблиці справді використовували для визначення часу вночі.

«Годинники Рамесідів». До часу Нового царства декани як покажчики часу втратили свою цінність і надалі їх копіювали, очевидно, лише як складову частину ритуалу похорону (ними «забезпечували» фараона, що звершує свою мандрівку в царство померлих). В Єгипті з XVII ст. вже були відомі водяні годинники. Однак єгиптяни не відмовилися цілком від вживання зоряних годинників і тому тут було складено астрономічно-календарні таблиці нового типу – так звані годинники Рамесідів, які знайдено в гробницях Рамзесів VI, VII і IX.

На передньому плані такої таблиці зображено 24 фігури сидячих людей – відповідно для 1-го і 16-го числа всіх 12 місяців. За кожною з фігур розміщено таблиці, що складаються з 12 рядків (за кількістю годин ночі). У рядках вказано положення певної зорі відносно «цільової людини», що сидить обличчям до спостерігача: «напроти серця», «над лівим (чи правим) оком», «над лівим (чи правим) вухом» і «над лівим (чи правим) плечем» (рис. 1. 4).

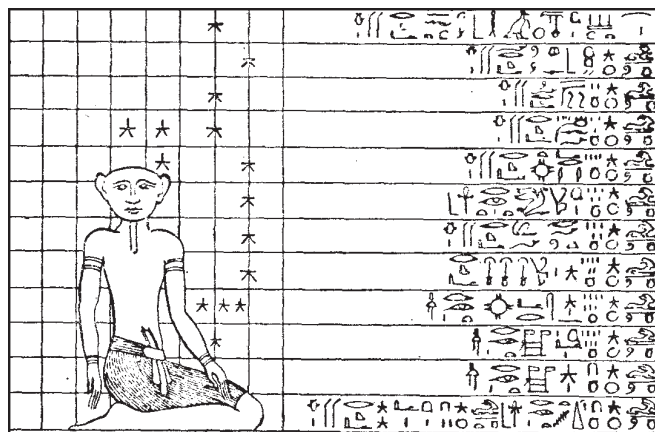


Рис. 1. 4. Таблиця для визначення години ночі з гробниць фараонів Рамзеса VI і Рамзеса IX (XI ст. до н. е.)

Основою методу є спостереження вказаних у таблицях годинних зір (їх вибирали ближче до горизонту, отже нижче від деканальних зір) при їх проходженні через небесний меридіан або близькі до нього вертикали. Під час спостережень двоє людей займали місця один напроти одного на даху храму чи спостережувальному майданчику на полуденній лінії так, щоб спостерігач був звернутий до півдня, тоді як «цільова фігура» обличчям до півночі.

Як і в діагональних календарях, дати проходжень зір через небесний меридіан рівномірно зсувалися по датах єгипетського громадянського календаря: на 15 діб за кожні 60 років. Тому записи в таблицях вимагали регулярних виправлень. В часи Рамесідів цей метод визначення години ночі вже не використовували, він залишався лише елементом прикраси в гробницях.

24-годинна доба. Найдавнішу згадку про години як частини доби знайдено в одному з текстів піраміди Уніса, останнього царя V династії (XXV ст. до н. е.). Там сказано, що цар «прояснює ніч і впорядковує години». Найімовірніше, звичай ділити добу саме на 24 години склався під впливом, з одного боку, поділу ночі на 12 частин при спостереженнях 12-ти деканів і, з другого, – удосконалення методів лічби часу вдень за допомогою сонячних та водяних годинників-*клепсидр*.

Водяні годинники давні єгиптяни використовували, очевидно, вже за 2000 р. до н. е. Клепсидри тут мали найрізноманітніші форми – циліндра, призми, перевернутого зрізаного конуса тощо. Відлік часу здійснювали за градуйованою шкалою, яку наносили всередині витесаної з каменю та оздобленої написами посудини. Зокрема, клепсидра з Карнаку мала 12 шкал неоднакової довжини – по одній на кожний місяць року (на той час єгиптяни вже визначили, що відношення тривалості найдовшої і найкоротшої ночі дорівнює $14/12$). Кожна шкала була розділена на 11 інтервалів, що давали змогу вимірювати час від кінця 1-ої до кінця 12-ої години ночі. Можливо, вихідним моментом для виміру у кожному випадку був схід чи кульмінація певної зорі, після чого відлік часу проводили незалежно від спостережень зір.

Для вимірювання часу вдень єгиптяни використовували декілька варіантів сонячних годинників. Найдавніший із виявлених екземпляр походить з XV ст. до н. е. Це – горизонтальна планка-основа, на краю

якої перпендикулярно до неї і на деякому підвищенні встановлювали горизонтальну ж пластинку, що відкидала тінь на основу. У першій половині дня годинник встановлювали цією пластинкою на схід, у другій – на захід, щоб тінь від неї падала на планку-основу. Виявлено декілька варіантів сонячних годинників, в яких час вимірювали за зміною напрямку тіні – з горизонтальною, з плоскою нахиленою, зі ступінчастою і вертикальною шкалами.

Найдавнішу згадку про поділ саме дня на години знайдено в описі тіньового годинника з кенотафа Сеті I. У цьому тексті тривалість «дня», тобто проміжка часу від цілковитої темряви вранці до настання повної темряви ввечері оцінюється величиною $2 + 8 + 2 = 12$ годин. Вважали, що для такого поділу не було іншої підстави крім бажання встановити симетричний поділ для ночі і для дня. Тривалість таких годин змінювалася від сезону до сезону, причому в ряді текстів ці зміни визначали лінійною схемою. Згодом, як це видно з опису тіньового годинника з епохи Тутмеса III (XV ст. до н. е.), на 12 частин ділено проміжок часу від сходу Сонця до його заходу. Отже тут вже використовували «сезонні години», які згодом вживалися в елліністичну епоху.

Ще пізніше, в епоху Рамесідів (бл. 1000 р. до н. е.) сформувалося уявлення про певну, незмінну упродовж років тривалість доби і введено звичай ділити її на 24 проміжки (години) однакової тривалості. Саме в одному тексті, який відносять до згаданої епохи, виявлено таблицю тривалості дня і ночі в годинах для різних місяців схематичного календаря. Такі години були названі греками «рівноденними».

Усе сказане в цьому розділі підтверджує слова О. Нейгебауера, що єгипетська астрономія протягом своєї історії залишалася на виятково незрілому рівні. В давньоєгипетських папірусах практично немає записів, що стосувалися б астрономічних явищ. Єгиптяни практично не цікавилися особливостями руху планет, затемненнями Сонця й Місяця. Серед величезної кількості писемних документів Давнього Єгипту є лише одна (і то сумнівна) згадка про часткове сонячне затемнення 610 р. до н. е. З декількох текстів, які зацікавили в однаковій мірі як астрономів, так і істориків, виділяють ось ці два. У так званому Кахунському папірусі згадано, що в 7-й рік

царювання Сенусерта III (XII династія) геліакічний схід Сириуса святкували у 16-й день 8-го місяця. В анналах же царя Тутмеса III (XVIII династія) сказано, що на 23-му році його правління, в 21-й день 9-го місяця була неоменія. Ці скупі дані було використано для встановлення років правління як згаданих тут фараонів, так і цілих династій.

«Резюмуючи, можна сказати, що з майже трьох тисячоліть єгипетською писемністю лише елліністичний і римський періоди залишили нам тексти, що мають справу з численними передбаченнями астрономічних явищ. Жодні більш ранні астрономічні документи не містять математичних елементів; вони є примітивними схемами спостереження, частково релігійного, частково практичного призначення. Давня наука була результатом діяльності дуже обмеженого числа людей, і ці нечисленні люди не були єгиптянами» (О. Нейгебауер, 1968, с. 101).

РОЗДІЛ 3. ВАВИЛОНСЬКА АСТРОНОМІЯ

Матеріали цього розділу викладено головним чином за книгою Б. Ван-дер-Вардена (1991) з урахуванням критичних коментарів її редактора О. Гурштейна, що стосуються як її, так і більш ранніх праць з історії астрономії, зокрема, О. Нейгебауера (1968, 1975) і А. Паннекука (1966).

В історії вавилонської астрономії виділяють звичайно два далеко не однакові за тривалістю проміжки часу. Це обумовлене як різними темпами її розвитку, так і відсутністю достовірної інформації про перші здобутки народів, що заселяли Межиріччя у V–IV тисячоліттях до н. е.

§ 1. ЗАГАЛЬНІ ЗАУВАЖЕННЯ

Як свідчать історики, з найдавніших часів, про які є певні відомості, північ Межиріччя займали аккадці, південь – шумери. Вже 3000 р. до н. е. ці останні змогли створити зразки найвищої культури, зокрема – винайшли клиноподібне письмо. Знаки, що відображали звуки (голосна та одна чи дві приголосних) за допомогою стілуся – очеретяної чи металевий палички – наносили на м'яку глиняну табличку, яку після цього випалювали. У правителів країни, та й, очевидно, у жерців, назбирувалися великі бібліотеки з таких табличок. Однак для європейців їхнє існування було неабиякою

несподіваною – це відкриття було зроблене у 1846 р., коли Анрі Лейярд (за прикладом Ботта) почав розкопки на місці давньої Ніневії і коли Джордж Сміт (у 1872 р.) розшифрував декілька текстів (це було оповідання про потоп).

Відчитування й аналіз згаданих давньовавилонських пам'яток писемності тривають. Висновки ж щодо істотних здобутків та високого рівня астрономії у III і II тисячоліттях до н. е. стало піддаються сумнівам, хоча взагалі сам факт її існування тоді є безперечним. Ситуацію навколо цього питання чітко окреслив О. Нейгебауер словами (1968): «ледве чи існує в історії науки інший розділ, в якому була б така глибока розбіжність між загальноприйнятим уявленням про епоху і висновками, що поступово впливають при детальному дослідженні першоджерел». У вавилонській астрономії «роль спостережень була дуже скромною; легендарна точність спостережень також все більше і більше виявлялася міфом. Водночас і вік вавилонської астрономії довелося визначати заново. Виявилось, що рання астрономія Месопотамії була незрілою і чисто якісною.., і лише останні три століття до н. е. подали нам тексти, засновані на послідовній математичній теорії руху Місяця і планет, ...про шумерську астрономію нічого не відомо. Міфологічні уявлення про небо, обожнення Сонця, Місяця чи Венери не можуть бути названі астрономією, як і не можна вважати гідродинамікою віру в божественність шторму чи втілення ріки».

Як бачимо, О. Нейгебауер стверджує, що про астрономію шумерів невідомо нічого конкретного. Однак вона була, бо деякі із знайдених астрологічних прогнозів датуються 2300 р. до н. е. Тимчасом те, що прийнято звати вавилонською імперією, сформувалося близько 2000 р. до н. е. (від цього моменту відлічується і розвиток так званої давньовавилонської астрономії). Для повноти картини згадаємо, що близько 1000 р. до н. е. в Межиріччі існувала Ассирійська імперія зі столицею в Ніневії, і саме з бібліотеки її царя Ашшурбанапала (669–630 рр. до н. е.) походить більшість зі згаданих клинописних текстів. Другий, нововавилонський період починається з 606 р. до н. е., коли під натиском вавилонян та мідян Ніневія перетворилася в руїни. Вавилон знову став столицею нової імперії, яка при Навуходоносорі (604–561 рр. до н. е.) поширила свою владу на всю Передню Азію. Невдовзі, однак, у 539 р., Вавилон був завойований персидським

царем Киром, а в 331 р. Александром Македонським. Отже другий (новоавілонський і персидський) період розвитку вавілонської астрономії тривав близько 300 років (від 630 до 330 р. до н. е.).

Відповідно вавілонську астрономію ділять на два періоди – давньовавілонський та асирійський (орієнтовно від 2000 до 630 рр. до н. е.) і новоавілонський та персидський (630–330 рр. до н. е.). І все ж здобутків шумерів у царині астрономії аж ніяк не слід применшувати. На доказ того, що вони у III тисячолітті до н. е. вже їх мали, можна навести такі міркування. Передовсім за правління Хаммурапі (1728–1686 рр. до н. е.) вже було уніфіковано місячно-сонячний календар, а вавілонські назви місяців було введено в усьому царстві. Розробка ж місячно-сонячного календаря зайняла не одне століття.

Далі, серед багатьох астрологічних текстів знайдено записи результатів спостережень Венери упродовж 21 року (63-тя табличка серії «Енума Ану Енліль»), де, зокрема, 8-й рік названо «Роком золотого трону». За багатьма ж іншими даними таку назву отримав 8-й (з 21) рік правління царя Аммі-цадука (1582–1561 рр. до н. е.). З тексту, як ось «Якщо в 15-й день місяця шабату Венера зникла на заході, була відсутньою на небі 3 дні, і на 18-й день місяця шабату Венера з'явилася на сході, нещастя для царів...», впливає, що вавілонські астрономи того часу вже сприймали «вечірню» і «ранкову зорю» як одну планету (грекам це далось щонайменше через 1000 років). Усвідомлення ж цього, як і розробка методики надійних спостережень за Венерою, зайняли не одне століття.

Однак, мабуть, найістотнішим доказом спадкоємництва шумерської та давньовавілонської астрономії є використання цією другою шумерських «слів-знаків» для найменування планет, зір і сузір'їв. Це обумовлене своєрідною лаконічністю шумерської мови, завдяки якій більшість астрономічних назв можна було зобразити одним чи двома символами. Ось декілька прикладів відчитання клинописних знаків:

MUL – зоря (знак проставлявся перед кожною конкретною назвою),

APIN («Плуг») – Трикутник + γ Кассіопеї,

IKU («Поле») – Квадрат Пегаса,

SIBA.ZI.AN.NA («Вірний Пастух Небес») – Оріон,

UZA («Коза») – Ліра,

MUL.MUL – Плеяди,
MASH.TAB.BA.GAL.GAL «Великі Близнята» – Близнята,
GUD.AN.NA («Бик Небес») – Телець,
UR.KU («Собака») – Геркулес,
LU.NUN.GA («Наймит») – Овен і т. д.

Планета Венера, зокрема, позначалася в сукупності чотирма знаками, які відчитуються як NIN.DAR.AN.NA, тобто «Світла Цариця Неба».

На превеликий жаль, при обговоренні розвитку астрономії, зокрема у Вавилонії, мова може йти головний чином про вік знайдених документів і про час, коли була зареєстрована та чи інша астрономічна подія. Усе ж інше залишається в царині здогадів. Тут, однак, можна зі сміливістю говорити про певні знання принаймні з середини III тисячоліття до н. е. Надто великою (і це певна психічна особливість мешканців Месопотамії) була тяга тут до астрологічних передбачень долі країни та її правителя.

§ 2. ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Передусім привертає увагу той факт, що вже за правління Хаммурапі у Вавилонії було уніфіковано календар. У всьому царстві введено такі назви місяців:

I Нісану	V Абу	IX Кислиму
II Айяру	VI Улулу	X Тебету
III Сімману	VII Ташриту	XI Шабату
IV Дуузу	VIII Арахсамна	XII Адару

Місяці починалися ввечері з першою появою серпа нового Місяця, тому рік складався з 12 місяців по 29 і 30 днів почергово. Епізодично в нього вставляли 13-й місяць (це був «другий Улулу» або «другий Адару») з тим, щоб утримувати початок року у певному сезоні (весна). Для щоденних потреб день і ніч поділяли на три «сторожі». Астрономи ділили добу на 12 подвійних годин – *bēgu* (милі), а тоді кожен *bēgu* – на 30 USH, або градуси часу. Отже, один градус часу дорівнював точно 4-м сучасним хвилинам.

На 1990 р. у розпорядженні вчених було всього три суто астрономічні тексти, які можна віднести до другої половини II тисячоліття до н. е. Це передусім так звані «Астролябії» (точніша назва «Три зорі в кожному») і «Списки зір Елама, Аккада та Амурру».

Третій, найголовніший документ – це своєрідна енциклопедія астрономії «Мул Апін», оригінал якої датують 690 р. до н. е., однак певна частина її матеріалів стосується спостережень принаймні з 1300 до 1000 рр. до н. е.

На думку Б. Ван-дер-Вардена, «Астролябії» відмічають початок наукової астрономії. Це – перша спроба систематизації донаукових народних знань про зорі, які видно на небі в різні сезони року. Збереглося декілька таких списків-таблиць зір (напевне, їх здебільшого робили у формі круга (рис. 1. 5), взятих 12 разів по 3 зорі:

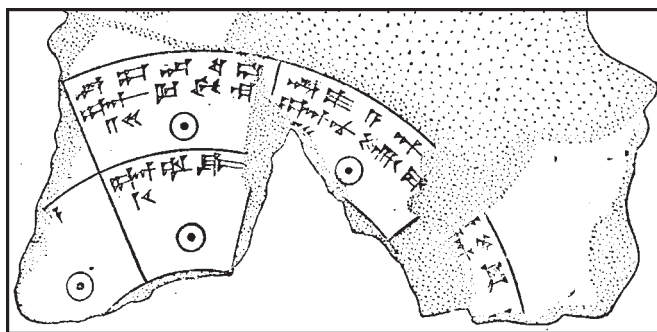


Рис. 1. 5. Фрагмент давньовавилонської круглої «астролябії».

«зоря Ану» – поблизу небесного екватора, зорі «Еа» та «Енлілі» – відповідно на північ та південь від нього. У таблицях (найдавніша складена близько 100 р. до н. е.) вказували числа місяців, на які випадали геліакічні сходи цих зір. Очевидно, це – попередник давньогрецького календаря-парапегми. Інший варіант – календар був сонячним (точніше – зоряним).

Аналіз текстів двох знайдених списків «Зір Елама, Аккада та Амурру» свідчить про те, що йдеться про дати геліакічних сходів практично тих же зір, що й в «Астролябіях». Однак назви цих таблиць – не за положенням відносно небесного екватора, а за країнами – вказує на те, що їх складено раніше. І, отже, «Астролябії», напевне, були удосконаленням цих попередніх таблиць.

Серія «Мул Апін», яку так названо за її першими словами і яка складається з трьох табличок, відома у 7 копіях. Найдавніший текст датовано 687 р. до н. е. У цій енциклопедії давньовавилонської астрономії – 18 окремих розділів. Перший фактично є каталогом,

в якому налічується 71 зоря, описано їх положення. Цікаво, що з 16 найпевніше ототожнених сузір'їв 5 (тобто третина) має спільні з грецькими назви, якими користуємося сьогодні. У розділі II подано список геліакічних сходів 36 зір, що має такий вигляд: «Місяць I, день 1. Овен сходить. День 20. Капелла сходить, і т.д. Розділ III включає список одночасних сходів і заходів зір, IV – список, в якому наведено різниці дат геліакічних сходів найяскравіших зір типу «Від сходу Сиріуса 55 днів до сходу зорі Канопус».

Далі (розділи VI і VII) вказано, які зорі перебувають у верхній кульмінації при геліакічному сході інших зір (очевидно, ці таблиці використовували у випадках, коли горизонт був вкритий хмарами), перелічено (розділ VIII) 18 сузір'їв, через які проходить Місяць в його видимому русі серед зір, перелічено планети і подано їхні синодичні періоди (XII), описано астрономічні сезони (XIV). Тут якраз є таке твердження: «Від XII 1 до II 30 Сонце перебуває на шляху Ану: Вітер і шторм. Від III 1 до V 30 Сонце є на шляху Енліля: Збір урожаю і жара. Від VI 1 до VIII 30 Сонце перебуває на шляху Ану: Вітер і шторм. Від IX 1 до XI 30 Сонце на шляху Еа: Холод».

Зміст як цього, так і розділу IV вказує на те, що давні вавилоняни ділили сонячний рік на чотири сезони по три місяці в кожному, тобто що він мав 12 схематичних місяців (можливо, по 30 днів у кожному), протягом яких Сонце пересувається від одного сузір'я до іншого. Однак, за всіма даними, екліптику в ті часи ділено лише на чотири частини. Є в «Мул Апін» і метод визначення години дня за довжиною тіні гномона для різних сезонів (розділ XVI).

У свою чергу, аналіз клинописних текстів, в яких подано як спостережувальний матеріал, так і теоретично обраховані положення Місяця і планет на конкретні задані дати (III–I ст. до н. е.) показує, що для обліку дробових частин доби вавилонські астрономи використовували «великі години» (прийняте позначення 1^H), як також USH (уш). Одна велика година становить 4 наших години або 60 уш:

$$1H \equiv 60^\circ \equiv 4 \text{ год}; 1^\circ \equiv 1 \text{ уш} \equiv 4 \text{ хвилини.}$$

Для вимірювання ж кутових відстаней крім градуса використано дрібніші одиниці: «палець» і še («ше» – «зерно», точніше – «ячмінне зерно») у такому співвідношенні: $1^\circ \equiv 12 \text{ пальців} \equiv 72 \text{ ше}$, або ж $1 \text{ ше} \equiv \frac{1}{6} \text{ пальця} \equiv \frac{1}{72} \text{ градуса}$.

Далі, вавилонські астрономи, відповідно до числа зодіакальних сузір'їв, поділили екліптику на 12 рівних (по 30°) частин і вказували екліптичну довготу планети у вигляді: 20° Тельця ($\lambda = 30^\circ + 20^\circ = 50^\circ$), 16° Лева ($\lambda = 4 \times 30^\circ + 16^\circ = 136^\circ$). При обчисленнях використовували 60-кову систему. Тому число 2,3 означало $2 \times 60 + 3 = 123$, тоді як $2,3;3,12 = 2 \times 60 + 3 + \frac{3}{60} + \frac{12}{60^2}$ і т. д.

§ 3. ТЕОРІЯ РУХУ МІСЯЦЯ

Результати обчислень місячних і планетних явищ математичними методами виявлено в понад 300 клинописних текстах (більшість з них зберігається у Британському Музеї та в Луврі), які відносяться до III–I ст. до н. е. Приблизно половина з них – це виклад методів проведення таких обчислень.

Як виявляється, вже з середини I тисячоліття до н. е. вавилонські астрономи для опису нерівномірного руху Сонця, Місяця і планет вміли застосовувати арифметичну прогресію: зміну того чи іншого параметра, яким цей рух описується, вони зображали зигзагоподібною чи кусочно-лінійною функцією. І це забезпечувало досить високу точність обчислень, зокрема наставання місячних затемнень – з похибкою усього декілька хвилин (О. Нейгебауер, 1968, с. 112).

Вавилонські астрономи в середині I тисячоліття до н. е., очевидно, вже знали, що положення Місяця на небі може відрізнитися від його середнього, обчисленого значення на 6° і що тому справжній момент сполучення (новий місяць) з Сонцем або протистояння (повня) може відрізнитися від середнього на півдобу. Тому хоча тривалість їх календарних місяців була неоднаковою, вони могли обчислювати положення Сонця на екліптиці (його знання необхідне для встановлення моментів нового Місяця і повні). Приймаючи, що Сонце проходить однакову дугу за кожен місяць. І навіть якщо не уточнювати обчислення, то ця похибка – близько $0,5^\circ$ – призводила до помилки у встановленні моменту повні (чи нового місяця) меншої, ніж одна година.

Можливо, завдяки цьому для аналізу руху Місяця, зміни його фаз і встановлення моментів сполучення і протистояння вавилонськими астрономами було розроблено дві системи обчислень, які вживали одночасно упродовж принаймні 200 років. У системі А приймали, що Сонце рухається зі сталою швидкістю (30° за місяць) в одній половині Зодіаку і з іншою сталою швидкістю ($28^\circ 7' 30''$) в іншій

(рис. 1. 6а). У системі В рух Сонця по екліптиці описували лінійною зигзагоподібною функцією від найменшого значення $m = 28; 10, 31$,

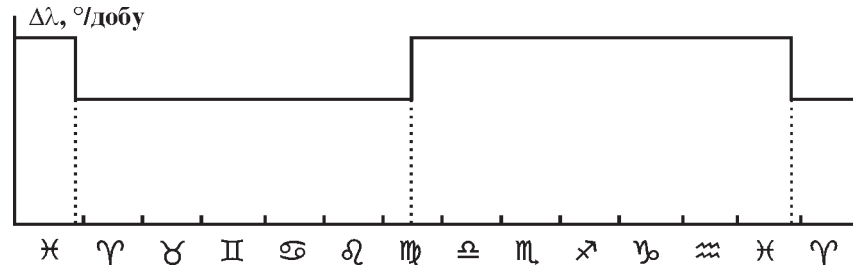


Рис. 1. 6а. Зміна кутової швидкості Сонця протягом року у вавилонській системі А. 40 до найбільшого $M = 30; 22, 7, 52$, зростаючи (далі – зменшуючись) від місяця до місяця на величину $d = 0;18$ (рис. 1. 6б).

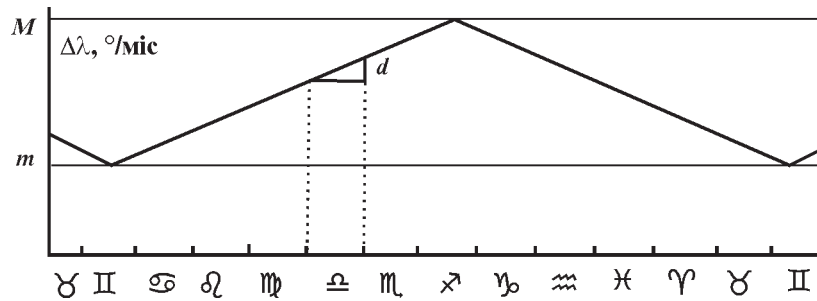


Рис. 1. 6б. Зміна кутової швидкості Сонця протягом року у вавилонській системі В.

Головною метою усіх цих обчислень були, очевидно, потреби удосконалення календаря (відліку 1-го числа і вставки 13-го місяця) та передбачення затемнень (це було потрібне, зокрема, для укладачів гороскопів). Оскільки ж рух Місяця є дуже складним, то обчислювачі подавали окремо зміну багатьох його параметрів: в системі А таблиці налічують 14, в системі В – до 17 стовпчиків (їх позначення за О. Нейгебауером, у системі А, ТФВСЕΨFGJKLM), в яких подано як зміну цих параметрів (переважно від повні – до наступної цієї ж фази) так і поправки для уточнення деяких із них. Першим стовпчиком (Т) є дата (повні чи нового місяця).

Зокрема, в системі А передусім (у другому стовпчику – Ф) подано тривалість періоду сароса (223 синодичні місяці = 6585,3216 доби), почавши з поточного нового місяця (чи повні). Для скорочення запису повне число діб звичайно вилучено і залишено лише дріб,

виражений у великих годинах ($USB - 1^H = 4^h$). Зміну тривалості сароса обчислено з використанням лінійної зигзагоподібної функції, причому її приріст d , максимум M ($\approx 2;17,51$) та мінімум m ($\approx 1;57,48$) обчислено до п'ятого розряду (зокрема $d = 0;2,45,55,33,20$).

Далі (стовпчик В) вказано довготи Місяця, що є також довготами Сонця, зменшеними на 180° (на шість знаків Зодіаку). Приймалося, що рух Сонця є повільним (по $\approx 28^\circ$ за кожний середній синодичний місяць) від 13° Діви до 27° Риб і швидким (по 30°) у протилежній частині Зодіаку. З усіх наявних у таблицях даних випливає, що в системі А $1 \text{ рік} = 12;22,8$ місяця.

Числа стовпчика Ф, як і деяких інших, перевіряли, очевидно, при спостереженнях двох місячних затемнень, розділених проміжком часу, рівним трьом саросам. Це – *екселігмос*, про який є згадка в клинописних текстах.

У стовпчику С залежність тривалості дня від довготи Сонця (для скорочення прийнято проставляти номери сузір'їв: Овен – 1, Телець – 2 і т. д.) апроксимується кусочно-лінійною функцією. Приймалося, що від 10° Овна (це – момент весняного рівнодення, коли день і ніч налічують по 3^H) до 10° Тельця тривалість дня зростає на $40'$ ($60' \equiv 4$ хвилини) на кожен градус сонячної довготи; від 10° (2) до 10° (3) – на $24'$ на кожен градус, від 10° (3) до 10° (4) – на $8'$. Таким чином, найдовший день рівний $3^H + 20^\circ + 12^\circ + 4^\circ \equiv 3^H36^\circ \equiv 14^h24^m$. Після максимуму тривалість дня зменшується спочатку на $8'$, потім на $24'$, на $40'$ (осіннє рівнодення) і ще раз на $40'$, на $24'$ і на $8'$ на градус сонячної довготи до найменшої величини $2^H24^\circ \equiv 9^h36^m$.

Кусочно-лінійною функцією апроксимовано місячну широту (в «зернах» še : $1 \text{ še} = \frac{1}{72}$ градуса) як функцію відстані Місяця від вузла місячної орбіти. Загалом широта Місяця змінюється в межах $\pm 7,12 \text{ še} = 432 \text{ še} = 6^\circ$. Очевидно, вавилонські астрономи знали, що найбільша широта Місяця сягає близько 5° . Однак для погодження кількості реально спостережуваних затемнень та їхніх фаз з обчисленнями нахил кусочно-лінійної функції поблизу вузлів було збільшено. Те ж, що внаслідок цього найбільша теоретично можлива широта Місяця сягала 6° , не мало істотного значення.

З аналізу текстів зроблено висновок, що вавилонські астрономи рух вузлів місячної орбіти оцінювали величиною $\kappa = 1^\circ33'55''30'''$ за місяць, тобто $19^\circ22'$ за рік. Це можна було встановити,

спостерігаючи два затемнення, які відбулися при однойменних вузлах і які розділені певним, достатньо великим проміжком часу.

Один із стовпчиків (Ψ) дає інформацію про фазу можливого місячного затемнення. Воно відбувається, якщо Місяць у повні перебуває на відстані $E < 1,4^\circ$ від вузла своєї орбіти.

Далі (стовпчик F) подано кутову швидкість руху Місяця, вона зображається лінійною зигзагоподібною функцією, причому максимум $M = 15;56,54,22,30$ ($\approx 15,95$ град/добу), мінімум $m = 11;4,41,15$ ($\approx 11,1$ град/добу). Взято до уваги, що ця швидкість змінюється від найменшого до найбільшого значення за аномалістичний місяць, тривалість якого визначається різницею кутової швидкості Місяця на кінець поточного і попереднього місяця. Аналогічно обчислювано також (стовпчик G) тривалість синодичного місяця.

Також приймалося до уваги, що в різні пори року проміжок часу між полуднем і заходом Сонця змінюється. Обчислено поправки на випадок, якщо момент кожного нового місяця (або повні) відлічено не від півдня, а від заходу Сонця. Так уточнювали дату і момент наставання повні (чи сполучення) поточного місяця.

У системі В, як зазначено вище, рух Сонця по екліптиці описується лінійною зигзагоподібною функцією при тривалості року $12;22,7,52$ місяця. Дещо інакше визначено тривалість дня. Весняне рівнодення настає в момент, коли Сонце має довготу 8° Овна – $8^\circ(1)$. З $8^\circ(1)$ до $8^\circ(2)$ день збільшується на $36'$ (замість $40'$ системи А) на кожен градус довготи, з $8^\circ(2)$ до $8^\circ(3)$ – на $24'$, з $8^\circ(3)$ до $8^\circ(4)$ – на $12'$ (замість $8'$ у системі А). Тривалість найдовшого дня, як і в системі А, 3^h36^m .

Крім стовпчика з «функцією затемнень» у деяких текстах є ще два стовпчики з поправками для її уточнення.

Далі (стовпчик F) лінійною зигзагоподібною функцією з параметрами $M = 15;16,5$, $m = 11;5,5$ і $d = 0,36$ описано кутову швидкість Місяця при її середньому значенні $13;10,35 = 13,18$ град/добу.

Аналогічно (G) вказано (у великих годинах) перевищення тривалості синодичного місяця над 29^d при $M = 4;29,27,5$, $m = 1;52,34,35$ і $d = 0;22,30$, так що середнє його значення – $29;31,50,8,20$ діб (= $29,53061$ доби, що лише на 2 с перевищує прийняте тепер значення).

Числа стовпчиків F і G дають змогу скласти важливе в теорії руху Місяця співвідношення:

$$269 \text{ аномалістичних місяців} = 251 \text{ синодичний місяць.}$$

У текстах подано також моменти нового місяця, відраховані від півночі з уточненням: стільки-то годин до (після) сходу (заходу) Сонця. Далі – час, що минув від моменту сполучення до заходу Сонця в день неоменії, і кутова відстань Місяця від Сонця на цей момент. В інших двох стовпчиках вказано ще час від сходу Місяця до сходу Сонця вранці, коли Місяць видно востаннє, і кутову відстань між ними цього ранку.

Найімовірніше, систему А було створено в проміжку часу 550 – 500 рр. до н. е., систему В – близько 450 р. до н. е., оскільки в першому випадку весняне рівнодення віднесене на 10° Овна, в другому – на 8° Овна. Є підстави вважати, що творцем системи А був астроном Набу-Ріманну, системи В – Кідінну (чи Кіден, як його іменували грецькі астрономи).

Варте уваги, що тексти, в яких збереглася інформація про місячні затемнення, охоплюють неперервними серіями інтервал з 748 до 159 рр. до н. е. Очевидно, однак, що найвищого рівня вавилонська астрономія досягла саме в роки 550–450 до н. е., оскільки в пізніші тексти не було внесено виправлення сталих величин, які використовували при обчисленнях (це стосується і положень рівнодень, і дуги «швидкого» Сонця).

Загалом же повнота і точність місячних таблиць, складених вавилонськими астрономами, вражає усіх дослідників вже десятки років!

§ 4. ТЕОРІЯ РУХУ ПЛАНЕТ

Серед матеріалів, що охоплюють тривалі ряди спостережень, виділено, зокрема, два тексти, в яких зафіксовано положення планет з 537 до 490 р. до н. е. і три тексти – з 469 до 400 р. до н. е. Довгі ряди таких спостережень і ставали основою для обчислення точних періодів і для побудови теорії руху планет. Найлегшим і першим кроком тут було визначення синодичного періоду планети, дуги її назаднього руху і вміння зафіксувати положення на небі головних точок (див. § 7 Вступу) та моменти проходження планети через них. Зокрема, синодичний період S визначали як час від одного MSt до наступного MSt. Варте уваги, що обчислювачі, принаймні в частині випадків, для опису явища використовували не доби, а тітхі (1 тітхі = $\frac{1}{30}$ синодичного місяця). Це усувало необхідність з'ясовувати, скільки діб мав конкретний календарний місяць – 29 чи 30. При

обчисленнях на декілька місяців наперед могла трапитися похибка в одну добу. Однак це не грало істотної ролі, оскільки моменти стаціонарних точок неможливо визначити точно.

Для побудови планетних таблиць на основі згаданих у § 3 систем руху Сонця і Місяця було розроблено декілька методів обчислень – системи А і А' (з варіантами А1 та А2,) і В та В'. Відмінності між цими системами ілюструються передовсім на прикладі таблиць положень Юпітера.

Рух Юпітера. В системі А прийнято, що Юпітер за синодичний період ($S = 399$ діб) на «швидкій дузі» екліптики від 30° (8) до 25° (3) – протяжністю 205° – проходить шлях в 36° , а на «повільній дузі» протяжністю 155° , від 25° (3) до 30° (8), лише 30° . При переході планети з одного відрізка екліптики в інший процедурні тексти дають правило: «Надвишок над 30° (8) помнож на $1;2$ і додай до 30° (8), надвишок над 25° (3) мнж на $0;50$ і додай до 25° (3)». Тобто дугу, що її пройшла планета за межею відрізка, в першому випадку слід помножити на $6/5$, в другому – на $5/6$ і додати до дуги, описаної нею в першій частині шляху поточного синодичного періоду.

Вавилонські астрономи приймали, що за кожний синодичний період Юпітер зміщується на 36 кроків уперед. Отже на швидкій синодичній дузі в 36° один крок дорівнює 1° , усього ж їх на цьому відтинку екліптики 205. На повільній дузі крок дорівнює $30^\circ/36 = 5^\circ/6$, тобто $50'$, тому на ній налічується $155^\circ : 50' = 186$ кроків. Усього ж на екліптиці вміщається $205 + 186 = 391$ крок. Можна сказати так: за 391 синодичний період Юпітер проходить 391 раз по 36 кроків, тобто планета 36 разів проходить всю екліптику. Звідси впливає співвідношення, яке пов'язує сидеричний і синодичний періоди планети:

36 сидеричних періодів = 391 синодичному періодові.

Таке ж співвідношення на підставі наявних табличних даних можна отримати, увівши поняття уявного «середнього Юпітера», який рухається лише в прямому напрямі (не описує петель) зі швидкістю 30° за синодичний період на повільній дузі і 36° на швидкій дузі. Повну дугу в 360° цей «середній Юпітер» проходить за $205^\circ/36 + 155^\circ/30 = 5;41,40 + 5;10 = 10;51,40 = 391/36$ синодичного періоду. Однак, як зауважив Б. Ван-дер-Варден, таке поняття

«середнього Юпітера», можливо, було чужим напрямкові думки вавилонських астрономів.

З процедурних текстів видно, що положення кожної наступної головної точки (MSt після MF, Op після MSt і т.д.) знаходили на підставі знання про положення попередньої. Для швидкої і повільної дуг окремо вказували інтервали дуги, що відділяє кожну пару цих точок, як також час на проходження цих дуг.

У досконалішій системі A' екліптику ділили на чотири дуги. На швидкій дузі, від $2^{\circ}(10)$ до $17^{\circ}(2)$ Юпітер за синодичний період проходив 36° , на повільній дузі, від $9^{\circ}(4)$ до $9^{\circ}(8)$, -30° , а на проміжних дугах – по $33^{\circ}45'$. Обчислювач використовував таку таблицю швидкостей руху Юпітера для швидкої дуги (у мінутах дуги за добу):

Після MF 30 діб – 15, далі 3 місяці до MSt – 8, тоді упродовж 4-х місяців назаднього руху – 5, далі 3 місяці після ESt – $7'40''$, 30 діб до EL – 15 і 30 діб до MF – 15. Для повільної дуги ці швидкості необхідно помножити на $\frac{5}{6}$, а для проміжних дуг – на $\frac{15}{16}$. Проміжки часу залишаються без змін.

Якщо в системі A для швидкої дуги приймали, що від MF до MSt Юпітер описує дугу $19;30$, від MSt до ESt (назадній рух) – 12° , від ESt до EL – $21;18^{\circ}$ і від EL до MF – $7;12^{\circ}$, то в системі A' ці числа відповідно дорівнюють $19;30 - 10 - 19 - 7;30^{\circ}$. Сума часу у всіх випадках є 390 діб.

У системі B пройдений шлях (різниця між двома послідовними довготами Юпітера) та інтервали часу визначали лінійними зигзагоподібними функціями. В системі B' такою функцією була і сама різниця d, тому рух планети на кожному з відрізків шляху фактично апроксимували гладкою кривою.

Відчитані дотепер процедурні тексти, що стосуються руху Сатурна, підтверджують застосування для розрахунку ефемерид цієї планети як системи A, так і системи B. У першій з них дугу екліптики також поділено на «повільну» – від $10^{\circ}(5)$ до $30^{\circ}(11)$ – і «швидку» – від $30^{\circ}(11)$ до $10^{\circ}(5)$. Дуга назаднього руху на «швидкому» відрізьку дорівнює $7;33,7$, 30° на «повільному» – $9;3,45^{\circ}$. У текстах подано швидкості руху в кожній частині екліптики і для проміжків між окремими парами головних точок. З наявних числових співвідношень випливає, що 9 сидеричних періодів = 256 синодичних періодів.

Рух Марса. Вавилонським астрономам вдалося розробити методи і для обчислення ефемерид Марса, хоча рух цієї планети є дуже нерівномірним. Так, якщо сполучення Марса з Сонцем відбулося в точці А, то наступне настає в середньому через $S = 780$ діб (= 2 роки 50 діб) в точці В, зміщеній у бік сходу на відрізок Δ , названий синодичною дугою. Очевидно, що за синодичний період S Марс описує дугу $360^\circ + \Delta$, Сонце – $720^\circ + \Delta$. Однак насправді у зв'язку з нерівномірним рухом Марса синодичний період коливається в межах від 765 до 811 діб. І оскільки сполучення пов'язане з положенням Сонця, яке за добу зміщується на $\approx 1^\circ$, то це означає, що і величина дуги Δ є в межах $35^\circ \dots 81^\circ$ при її середньому значенні 50° .

Для врахування цієї нерівномірності руху Марса при обчисленнях синодичної дуги вавилонські астрономи розбили екліптику на шість секторів по два знаки Зодіаку в кожному з певною для кожного сектора протяжністю синодичної дуги, як також вказали корегуючі множники для випадків виходу дуги за межі сектора. Ця таблиця виглядає так:

В (2) і (3) шлях 45° , надвишок над (3) множиться на $2/3$.

В (4) і (5) шлях 30° , надвишок над (5) множиться на $4/3$.

В (6) і (7) шлях 40° , надвишок над (7) множиться на $3/2$.

В (8) і (9) шлях 60° , надвишок над (9) множиться на $3/2$.

В (10) і (11) шлях 90° , надвишок над (11) множиться на $3/4$.

В (12) і (1) шлях $67;30^\circ$, надвишок над (1) множиться на $2/3$.

В кожному випадку до вказаного шляху додається 360° . Наприклад, в одному з текстів вказано положення точки MSt (ранкове стояння Марса) на рік 123 Селевкідської ери: $17;30^\circ(2)$, тобто $17;30^\circ$ Тельця, і розраховується положення цієї ж точки для року 125. Оскільки планета перебувала в сузір'ї (2), для якого «шлях» дорівнює 45° , то $17;30^\circ + 45^\circ = 62;30^\circ = 2;30^\circ(4)$. Але помноживши цей надвишок над (3) на $2/3$, знаходимо положення Марса при наступному ранковому стоянні: $1;40^\circ(4)$. Отже за один синодичний період Марс змістився в бік сходу (не беручи до уваги повний оберт в 360°) на $44;10^\circ$.

Для подальшого аналізу синодичну дугу було розділено на 18 «кроків», довжина яких в різних секторах Зодіаку є неоднаковою: $2;30 - 1;40 - 2;13,20 - 3;20 - 5 - 3;45^\circ$. У кожному секторі Зодіаку налічується по 60° , поділивши це число на відповідну довжину «крока»,

знаходимо кількість кроків у секторах: 24 – 33 – 27 – 18 – 12 – 16, і, отже, що вся екліптика містить 133 кроки. Звідси випливає висновок: Марс за кожний синодичний період проходить $360^\circ + \Delta$, або ж $133 + 18$ кроків. Інакше кажучи, за 133 синодичних періоди Марс проходить 133 рази по 151 крокові, тобто він проходить екліптику 151 разів.

В одному з текстів це записане так: «2,13 явища 2,31 обертання 15,6,0 градусів руху». Тобто: 133 повторення одного і того ж явища = 151 повному оберту = проходженню 151 раз по 360° , і зрештою: 151 сидеричний період = 133 синодичних періоди = 284 роки.

Здійснивши операцію ділення $15,6,0 : 2,13$ і відкинувши 360° , отримуємо сказане в тексті: «запиши 48;43,18,30° як середній шлях».

В системі А приймалося, що число кроків, які Марс проходить від EL до MF, від MF до MSt і від MSt до EL дорівнює відповідно 33, 60 і 58, а також що явища EL, MF і MSt відбуваються при відстанях $+15^\circ$, -15° і -120° від середнього Сонця. Якраз для обчислення цих трьох явищ і використовували описані тут схеми. За О. Нейгебауером, для визначення положень точок назаднього руху Op та ESt вавилонські астрономи використовували чотири різні схеми R, S, T і U. В кожній з них дуга від MSt до Op є залежною від положення MSt. За схемою R дуга завжди дорівнює 6° , якщо MSt відбувається в знаках Зодіаку (2) і (3); для знаків (4) і (5) дуга дорівнює $6;24^\circ$, для (6) і (7) – $6;48^\circ$, для (8) і (9) – $7;12^\circ$. Далі числа так же зменшуються. У згаданих трьох інших схемах комбінації довжин дуг дещо інакші. Було розроблено також метод, що ґрунтувався на системі В, тут зміну дуг апроксимували лінійною зигзагоподібною функцією.

Рух ВЕНЕРИ і МЕРКУРІЯ. Для обчислень ефемерид Венери існувало три системи – A_0 , A_2 та A_1 . Перша з них значно простіша, ніж системи А для Юпітера, Сатурна і Марса, оскільки тут синодична дуга не залежить від її положення на екліптиці. Було встановлено, що за один синодичний період довгота зростає на 7 знаків Зодіаку і $5;30^\circ$, моменти явищ розділені проміжком 19 місяців і $23;10$ тітхі. Отже шлях l , що його проходить Венера за один синодичний період, $l = 19$ знаків $+ 5;30^\circ = 9,34;30^\circ$, а час $t = 9,53;10$ тітхі, так що $t \equiv l + 17;40^\circ$. Звідси випливає співвідношення:

$$5 \text{ синодичних періодів} = 8 \text{ сидеричних періодів} - 2;0^\circ.$$

У двох інших системах враховували залежність довжини шляху від положення планети на екліптиці.

Значно складнішими були системи A_2 та A_1 для обчислення ефемерид Меркурія. В системі A_2 для обчислення положення точки ML (остання видимість вранці) екліптику ділили на чотири неоднакові частини, в яких задавали різні значення синодичного шляху і різні швидкості в цих дугах. Аналогічно для знаходження точок EL (остання видимість ввечері) екліптику ділено на чотири (інакші, ніж у попередньому випадку!) неоднакові за протяжністю дуги також з різними «шляхами». Дуги ж $ML - EF$ та $EL - MF$ знаходили з використанням кусочно-лінійних функцій, залежних від знаків Зодіаку.

Як зауважив О. Нейгебауер (1968, с.131), центральною проблемою для вавилонських астрономів було встановлення моментів появи і зникнення планет у променях Сонця, періодичність в повторенні цих явищ і відхилення від цієї періодичності. Ніяких спроб побудувати кінематичні моделі (типу теорії Птолемея) у клинописних текстах не виявлено.

РОЗДІЛ 4. АСТРОНОМІЯ В КРАЇНАХ СХОДУ І НОВОГО СВІТУ

Дві найбільші країни Сходу – Китай та Індія – були, безперечно, вогнищами давньої і своєрідної культури. Однак що стосується конкретно астрономії, то картину її розвитку тут відновити практично не вдається. В обох країнах періоди розквіту чергувалися зі століттями розрухи, повстань, вторгнень орд завойовників, як також стихійними лихами – повеннями та землетрусами. Невідомо скільки фактів давньої історії Китаю стерто з пам'яті після того, як у 213 р. до н. е. при гонінні на послідовників видатного мислителя Конфуція (551–479 до н. е.) за наказом імператора-узурпатора Ші-Хуанді було спалено всі книги і знищено 460 вчених. Згодом зміст згаданих книг почали відновлювати з пам'яті – як зауважив А. Паннекук, «здебільшого замінювати попередній зміст новим» (1966, с. 94).

По-своєму нелегкою, що більше – трагічною, була доля корінних народів Нового Світу – американського континенту, зокрема народу майя. Як відомо, іспанці, які першими почали «освоювати» Центральну Америку, налічили тут близько 40 000 кам'яних пірамід висотою до 60 м. Однак зразу ж ці завойовники почали знищувати

усі пам'ятки архітектури, спалювати рукописи, що були написані своєрідними ієрогліфічними знаками. Відомо, що губернатор Юкатану (Мексика), який почав завоювання цього півострова у 1526 р., мав звичай кормити своїх собак м'ясом убитих індіців. А за наказом Дієго де Ланда, другого архієпископа цієї країни, у 1562 р. всі зібрані рукописні книги майя були спалені під час урочистого аутодафе, як про це писав сам Ланда: «Ми знайшли в них велику кількість книг цими літерами. І оскільки в них не було нічого, в чому не містилося б забобону і брехні демона, ми їх усі спалили». Випадково збереглися чотири рукописи...

§ 1. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗОРЯНОГО НЕБА В КИТАЇ

Як і в багатьох інших закутках планети, в Китаї упродовж тисячоліть життя ставило перед людьми проблеми, які необхідно було вирішувати за допомогою саме астрономічним спостережень. Але передовсім привертає увагу ось що. В китайській мові поняття «Всесвіт» виражається за допомогою двох ієрогліфів. Перший з них означає «чотири сторони неба і землі», тобто він виявляє поняття «простір», другий же означає «від давнини до сьогодення моменту» тобто виражає поняття часу. Це явне свідчення глибокого філософського осмислення проблеми існування матеріальних структур: усе у Всесвіті існує в просторі і розвивається в часі і все у своїй сукупності є тим, що має назву Всесвіт.

Найдавніші астрономічні тексти, що збереглися на кістках тварин і панцирах черепах, походять з XVII–XVIII ст. до н. е. На них зображено групи яскравих зір (серед ототожнених, зокрема, Скорпіон, Гідра та інші). Найімовірніше, ці пластинки використовували для ворожіння, але також – для календарних обчислень. Про те, що при китайському імператорському дворі були спеціальні чиновники, обов'язком яких були регулярні спостереження небесних світил і складання календарів, відомо з книг «Щуцзин» (Книга переказів) та «Шицзин» (Книга пісень), складених під редакцією Конфуція (Кун-цзи) близько 500 р. до н. е.

Внаслідок регулярних і тривалих спостережень давньокитайські астрономи встановили, що поява на небі ввечері (акронічний схід) або вранці (геліакічний схід) певних орієнтуючих зір – «чен» повторюється в ритмі з настанням того чи іншого землеробського

сезону. Такими зорями були зоря «Дахо» (Антарес), сузір'я «Цан» (Оріон) і «Бей доу» («Північний Ківш» – Велика Ведмедиця). Так, акронічний схід Антареса в середині III тисячоліття до н. е. відбувався поблизу моменту весняного рівнодення, проходження цієї зорі через небесний меридіан ввечері зразу після заходу Сонця вказувало на середину літа. Як зауважив П. А. Старцев (1975), ця зоря врешті-решт стала для давніх китайців божеством – святим небесним драконом, покровителем нації.

Однак найчіткіше пору року давні китайці визначали за положенням ручки Ковша Великої Ведмедиці. Так, в одному з записів епохи Ся (2205–1766 рр. до н. е.) сказано: «У 1-му місяці ручка Ковша звернена вниз, у 6-му місяці в присмерках можна бачити, що ручка Ковша повернута вверх...». В іншому тексті-календарі читаємо: «1-й місяць. На початку ночі сузір'я «Цан» буває в середині неба, ручка Ковша повернута вниз. На початку року землероби готують плуги і виходять для розмежування полів; приносять жертву винахідникові плуга... 3-й місяць. На початку ночі сузір'я «Цан» ховається на заході. Моляться за врожай пшениці, оскільки в цьому місяці бувають невеликі засухи...» Особливий малюнок ритмічної зміни положень Ковша відносно центра обертання (тоді поблизу нього була зоря α Дракона) став астрономічним джерелом прадавнього символу – «знака вічності», відомого за його санскритською назвою «свастика».

Отже потреба в передбаченні моментів зміни пір року привела китайських астрономів до виділення в поясі Зодіаку чотирьох «сезонних» ділянок неба. Водночас, оскільки китайський календар був місячно-сонячним, то вони ж для фіксації положень Місяця серед зір близько 1000 року до н. е. розділили смугу неба уздовж екліптики на 28 «домів». Це полегшувало їм визначення положень планет, про що є посередні відомості принаймні з епохи Шань-Інь (1766–1122 до н. е.). Очевидно, спостереження планет давнім китайцям були потрібні (не в останню чергу) і для астрологічних передбачень. Про це свідчать вже самі назви планет. Сатурн – Чжень-сін – «Жовтий імператор», що відає чеснотами, він же Ді-хоу – «Князь Землі» або «Той, хто спостерігає за Землею», керує врожаєм. Планета Марс – Іх-хо («Вогонь») – нібито пов'язана зі стихією вогню, керує справами літа. У трактаті історика Сима Цяня (145 – бл. 86 до н. е.) «Ші Цзи» («Історичні записки», т. IV) записано так: «Якщо планета Марс проходить у зворотному напрямі

два сузір'я і більше і зупиняється там, – протягом трьох місяців трапиться біда...» Венера – це Ін-син – «Велична зоря», Тай-чжен – «Велике начало», Гуань-синь – «Всевидюща зоря», Да-сянь – «Великий порадинок» і Сюй-син – «Зоря-пристановище». Ця планета нібито спостерігає за військовими справами, керує стратами. Меркурій – Мян-син – «Унікаюча зоря» є планетою стихій, керує зимою.

Проте найбільшу увагу китайські астрономи приділяли Юпітеру, назви якого мають глибокий календарний смисл, що істотно виділяє його з-поміж інших планет. Ось ці назви: Суй-син – «Зоря року», Тай-суй – «Великий рік», Ін-син – «Зоря відгуку», Дзин-син – «Зоря-основа», Чун-хуа – «Подвійний блиск» та ін. Цю планету вважали «керівником духів і демонів», від неї «залежала доля врожаю». Однак найважливішим є те, що повне коло на екліптиці Юпітер проходить за 12 років (точніше, 11,86 року). Проміжок часу в 12 років, за який «царствена планета» проходить через всі зодіакальні сузір'я, став прообразом 12-річного циклу китайського місячно-сонячного календаря (як і календарів деяких сусідніх із Китаєм народів).

В багатьох відношеннях, як зауважив А. Паннекук, китайська астрономія істотно відставала від вавилонської. Наприклад, тривалість синодичного місяця, що її приймали китайські астрономи на початку нашої ери, була на 23 с більша від справжньої. З другого боку, однак, у з'ясуванні ряду інших питань вони досягли безперечних успіхів. Так, у II ст. до н. е. тривалість тропічного року тут було оцінено в 365,25 доби. Відповідно до цього дугу повного кола китайці ділили не на 360° , а на $365\frac{1}{4}^\circ$. Було висловлено здогад про рух Землі. Так, астроном Лося Хун близько 100 р. до н. е. писав: «Земля увесь час рухається, однак люди не знають цього; вони наче команда на закритому судні: коли воно переміщується, вони цього не помічають».

Орієнтовно в 355 р. до н. е. астрономи Гань Гун і Ші Шень склали список 809 зір, причому для 120 з них було вказано екліптичні координати. Китайські астрономи ретельно реєстрували появу кожної «зорі-гості» (наднової, почавши принаймні з середини VI ст. до н. е. Серед інших було зафіксовано і ту, яку в 134 р. до н. е. спостерігав грецький астроном Гіппарх. В китайських хроніках знайдено відомості про появу «зір-мітел» (комет), причому найбільш ранньою є згадка про появу комети Галлея 1058/1057 р. до н. е. Варте уваги,

що почавши з 239 р. китайці не пропустили жодного її проходження поблизу Сонця.

Орієнтовно з VII ст. до н. е. китайські астрономи реєстрували і «зоряні дощі». Опис в китайських історичних хроніках 16 березня 687 р. до н. е. метеорного дощу з радіантом в сузір'ї Ліри є найдавнішим свідомством про це явище.

Очевидно, китайці були першими, хто виявив плями на Сонці. Це мало б статися в 301 р. до н. е. Запис, що його зроблено у квітні 43 р. до н. е., звучить так: «На Сонці з'явилися темні плями величиною з арбалетну кулю». З того часу і до XVI ст. н. е. включно налічено близько 100 записів про спостереження плям на Сонці. Відмічалася, що плями «ховаються» через декілька днів (однак не усвідомлено, що це пов'язане з обертанням Сонця).

Окремо слід згадати питання про реєстрацію китайцями сонячних і місячних затемнень. В хроніках є згадка (достовірність її, однак, піддається сумніву) про те, як астрономи Хо і Хі не змогли передбачити сонячне затемнення 22 жовтня 2137 року до н. е., за що були скарані на смерть. Записи про сонячні затемнення знайдено на черепашачих панцирах з XVI–XI ст. до н. е. Є в хроніках згадка про сонячне затемнення 6 вересня 776 р. до н. е., а з 773 до 483 р. до н. е. в Китаї було зареєстровано 37 сонячних затемнень, з яких 33 підтвержені сучасними розрахунками. Є також декілька згадок про затемнення Місяця (найдавніші, можливо, з 1328 і 776 р. до н. е.

§ 2. ДАВНЬОКИТАЙСЬКІ КАЛЕНДАРИ

Про достовірність інформації щодо давньокитайських календарів можна розмірковувати на підставі таких слів Чен Цзун-вена (1958): «Шість різних видів календаря, що використовували в Китаї до 104 р. до н. е., до нас не дійшли; про них можна говорити лише в загальних рисах за окремими даними, які збереглися. З 104 р. до н. е. і аж до 1644 р. н. е. в Китаї використовували свій власний календар. Протягом цього часу (близько 1750 років) календар реформовано понад 50 разів, але принцип його залишався незмінним – це був місячно-сонячний календар. Поступово, однак, покращували метод його обчислення».

Проте, хоча і є певні сумніви в автентичності текстів давніх хронік (бо ж можливі перекручення при їх відновленні після вже згаданих гонінь на конфуціанство, до речі, – за один його матеріалістичний напрям), то коли йдеться про загальні принципи структури давньокитайських календарів, до наявних відомостей все ж можна ставитися з довірою. Звичайно, той чи інший володар міг знищувати певні писемні, культурні надбання, але скрізь і понад усе давні люди (їхні правителі також) боялися втратити лік днів і років, боялися розриву тої своєї рідної нитки часу. Отже, як цілком «нейтральні», не могли не зберегтися такі дві визначальні риси календаря: 1) давньокитайський календар був місячно-сонячним і 2) давньокитайський календар був циклічним, і тривалість циклу – 60 років – істотно полегшувала їх лічбу у всіх сферах матеріального і духовного життя суспільства.

Основи календаря. У текстах, в яких описується історія Китаю, є згадка про календар, складений в часи напівлегендарного імператора Ху-ан-ді (середина 3-го тисячоліття до н. е.). В «Книзі історії» – «Шуцзин» – в записі, що стосується проміжку часу між 2109 і 2068 р. до н. е., мовиться: «широко відомо, що три сотні днів і шість декад і шість днів) становлять повний рік». А оскільки сонячний рік несумірний із місячним місяцем, то «чотири пори року поєднуються вставним місяцем». Отже орієнтовно десь близько 2000 р. до н. е. давньокитайські астрономи, виходячи з результатів своїх спостережень, вже могли приймати, що сонячний рік триває 366 діб, а синодичний місяць 29,5 доби.

За всіма даними, календарні місяці давньокитайського календаря починалися з фази нового місяця, а початок нового року припадав між зимовим сонцестоянням і весняним рівноденням. Однак цей початок року неодноразово зсували ближче то до першого, то до другого моменту.

В середині епохи Чун-цю (722–481 рр. до н. е.), близько 595 р. до н. е. в Китаї проведено календарну реформу, внаслідок якої узаконено вставку 7 місяців за кожні 19 років. Тривалість сонячного року визначено в 365,25 доби. Згодом, у 385 р. до н. е. прийнято, що рік починається безпосередньо після зимового сонцестояння, місяць – з дня нового місяця (сполучення Місяця з Сонцем), доба – від світанку. Починаючи з середині III ст. до н. е. вставки 13-го місяця здійснювали не після 12-го, а після 6-го місяця року. Тоді ж сонячний

рік було розділено на 24 сезони залежно від положення Сонця на екліптиці. За цим календарем визначали строки сівби і збирання врожаю. А щоб не запізнитися з весняними роботами, селяни придумали, зокрема, такий спосіб. Починаючи з дня зимового сонцестояння, складали дев'ять ієрогліфів по дев'ять рисок у кожному (що означало: «перед вікном дерево чекає весняного вітру») і малювали по одній рисочці щодня. Коли всі ієрогліфи були намальовані, це означало, що прийшла весна...

У 104 р. до н. е. в Китаї було прийнято так звану саньтунську календарну систему. У ній тривалість синодичного місяця дорівнює $29\frac{43}{81}$ доби (= 29,53086 доби), кількість днів у 19-річному циклі – в одному «цан» – 6939,753 доби. Звідси впливала тривалість сонячного року 365,2502 доби. Вставку 13-го місяця проводили на підставі астрономічних спостережень, оскільки при цьому мали задовольнятися такі умови: зимове сонцестояння завжди повинно припадати на 11-й місяць, літнє – на 5-й, весняне рівнодення – на 2-й.

«Календарна ситуація» в Китаї ускладнювалася тим, що кожна нова імператорська династія, а часом навіть окремі князі вважали своїм обов'язком пропонувати нову календарну систему чи вносити якісь зміни в існуючу з метою увіковічення свого імені (календар приймав ім'я імператора, який його запропонував). І це часто призводило не до покращання, а до погіршення календаря. Відомо, що в 9 р. н. е. один з князів «з метою прискорення течії часу» наказав не вводити в поточному році додатковий місяць, хоча така вставка діючими правилами була передбачена. У 84 р. н. е. імператор Чженді, щоб отримати сприятливе астрологічне віщування, наказав ввести поправку... в рух планет. Аналіз показав, що від початку нашої ери і до 1100 р. реформи календаря в Китаї проводилися 70 разів, систему літочислення змінювали 13 разів.

Цикли китайського календаря. Лічба часу за циклами – примітна риса календарів народів Сходу (крім китайського, також монгольського, в'єтнамського, японського). Вихідними тут є два уявлення: 1) світ складається з п'яти «стихій» чи Небесних віток – води, вогню, металу, дерева і землі, причому кожен з цих першоелементів ділиться за двома космічними силами – «сила світла» (позитивне, чоловіче начало) і «сила темряви» (негативне, жіноче начало). Так п'ять стихій з поділом кожної на дві утворюють десять циклічних знаків, або десять небесних коренів

чи «пнів»; 2) існує цикл 12 «земних віток», названих іменами тварин: миша, корова, тигр і т.д., як це показано в таблиці 2. Особливістю системи є те, що «непарний» елемент «вітки тварин» поєднується з «позитивним» (чи природним) космічним началом, і навпаки: 1-й рік циклу – це «рік дерева і миші» (розуміється дерево як рослина, бо «парне» – це дерево як будівельний матеріал), 3-й рік циклу – «рік вогню і тигра» (знову ж таки тут вогонь природний, тоді як для 4-го року «вогонь домашній») і т. д.

За початок цієї циклічної лічби прийнято 2397 (за іншими даними – 2697) р. до н. е. В наш час 1995-й рік був останнім роком циклу – «роком води і свині», тоді як 1996-й – «роком дерева і миші» нового циклу.

Таблиця 2

Перехід у китайському календарі від року до року в 60-річному циклі

Період	Циклічний знак	«Небесні вітки»								Вітки тварин		
		Му		Хо		Ту		Цзинь			Шуй	
		дерево	вогонь	земля	метал	вода						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	I	Цзи	1	13	25	37	49	Шу (миша)				
	II	Чоу	2	14	26	38	50	Ню (корова)				
	III	Інь	51	3	15	27	39	Ху (тигр)				
	IV	Мао	52	4	16	28	40	Ту (заєць)				
	V	Чень	41	53	5	17	29	Лун (дракон)				
	VI	Сі	42	54	6	18	30	Ше (змія)				
	VII	У	31	43	55	7	19	Ма (кінь)				
«Земні вітки»	VIII	Вей	32	44	56	8	20	Ян (вівця)				
	IX	Шень	21	33	45	57	9	Хоу (мавпа)				
	X	Ю	22	34	46	58	10	Цзі (курка)				
	XI	Сюй	11	23	35	47	59	Гоу (собака)				
	XII	Хай	12	24	36	48	60	Чжу (свиня)				

§ 3. Астрономія Давньої Індії і Нового Світу

Зіставити два так взаємно віддалені регіони дозволяє не лише помилка Христофора Колумба (після уточнення географічного положення ряд відкритих ним островів Америки було названо Вест-Індією). І не те, що корінних мешканців Нового Світу (обох Америк) на довгий час названо «індіанцями». Річ у тім, що на обох

цих теренах виявлено пам'ятки давніх цивілізацій, однак значною мірою вони все ще не вивчені вповні і не усвідомлені до кінця. Це стосується, зокрема, і різних аспектів астрономії.

Астрономія в Індії. Об'єм наших знань про рівень астрономії в Давній Індії достатньо чітко описаний А. Й. Єремєєвою та Ф. О. Цициним (1989): «Найдавніші, що збереглися, документальні джерела щодо відомостей про астрономічні уявлення і знання мешканців Давньої Індії – це печатки із зображеннями на міфологічні космологічні та космогонічні сюжети. Короткі написи на них дотепер не розшифровано. Ці документи відносять до індської цивілізації, яка існувала вже в III тис. до н. е. в долині ріки Інд... Відомостей про астрономічні знання періоду індської культури дуже мало.

...У давній збірці релігійних гімнів «Рігведа», створення яких відносять до періоду з кінця II до першої половини I тис. до н. е., знайшли відображення і деякі астрономічні знання давніх індійців... Першими об'єктами досліджень на небі для давніх індійців стали Сонце і Місяць..., а першим практичним застосуванням астрономії було укладання календаря. Особливий інтерес проявився до сузір'їв, через які здійснював свій видимий рух Місяць. Цю ділянку неба... ділили на 28 (іноді згадується 27) «місячних стоянок» – *накшатр*. Кожна накшатра, за «Рігведою» відповідала або яскравій зорі... або групі зір...

Відомостей про які-небудь систематичні спостереження давніми індійцями планет не збереглося. Але... принаймні три планети було відмічено як сталий елемент неба, ...можна зробити висновок, що це... Марс, Юпітер і Сатурн».

Згадані автори додають ще й таке: «Не збереглося вказівок і про систематичні спостереження зір у цей період... Відомостей про які-небудь астрономічні інструменти у давніх індійців, як і про залишки спостережувальних майданчиків, поки що не виявлено».

Однак давні індійці (як і інші народи світу) потребували певних систем лічби часу, і вони, звичайно, їх розробляли і мали. Доказом цього є хоча б те, що до недавнього часу (вже в XX ст.) для визначення дат тих чи інших свят в Індії (а її населення розмовляє більш як на 200 мовах) використовували близько 35 різних календарів, в основному – місячно-сонячних. Очевидно, десь на початку нашої ери в Індії розроблено календар, в основу якого покладено зоряний рік –

проміжок часу, за який Сонце повертається до тої ж зорі, здійснивши річний рух по екліптиці. Цей рік ділили на 6 сезонів, кожний сезон – на 2 місяці, причому тривалість двох літніх місяців сягала 32 діб, тоді як двох зимових – по 29–30 діб. Цим відображали зауважену індійськими астрономами нерівномірність руху Сонця по екліптиці.

В деяких календарях відлік років проводили за ерою Сака з епохою 78 р. н. е.

Про астрономію Нового світу. Обговорення питання про рівень астрономії в Новому Світі саме тут обумовлене двома причинами: 1) широко розповсюдженими твердженнями, нібито календар майя як одного з корінних народів цього регіону є значно точнішим, ніж наш; звідси мало б випливати, що в основі згаданого календаря лежать ґрунтовні знання, які нагромаджувалися упродовж тривалого часу і які, отже, сягають багатьох століть до н. е., і 2) фантастична віддаленість від нашого часу дати 5 041 738 р. до н. е., яку майя приймали за початок (епоху) свого літочислення, як також, зрештою, не менша міфічність дати 3113 р. до н. е., з якою вони пов'язали свою історичну хронологію.

У чотирьох уцілілих текстах майя виявлено згадку про те, що ділянку неба уздовж екліптики вони ділили на 13 сузір'їв. Можливо, це обумовлене використанням ними у своїх календарних обчисленнях не синодичного, а сидеричного місяця. Серед назв сузір'їв: Летюча миша, Жаба, Папуга, Сова, Скорпіон, Черепаха, Мавпа. З деяких фрагментів згаданих текстів випливає, що майя здійснювали спостереження планет і навіть складали таблиці їхнього руху, принаймні це мало б стосуватися Венери і Марса. Однак, навіть приймаючи, що давні майя «з великою точністю визначили синодичні періоди усіх відомих планет», практично нічого не можна сказати про те, як використовували вони ці знання для обчислень їхніх ефемерид, якщо такі обчислення проводилися.

Найбільшу увагу привертає до себе календар майя. З одного боку, його було розшифровано раніше писемності (Ю. В. Кнорозов, 1963), однак, з іншого, деякі елементи цього календаря залишаються не зовсім з'ясованими дотепер.

Як звичайно, майя в основу календарної лічби поклали день – к'ін, об'єднуючи його в три різні «блоки» – місяці: 1) дев'ятиденний, кожен день якого мав свою власну назву, 2) тринадцятиденний –

«тиждень» з 13 к'інів, де кожний день було позначено порядковим номером, і 3) двадцятиденний – віналь – «місяць» з 20 к'інів, кожен день якого мав свою назву), але також був позначений числом (від 1 до 20). Однак при лічбі днів у році наставав розрив між порядковим номером дня (числом) місяця і назвою дня. Тому насправді можна говорити про існування двох 20-денних місяців, тобто про незалежну лічбу днів «двадцятками» (з числами від 1 до 20) і неперервною зміною 20 найменувань при переході від одного року до іншого.

Здивування викликало те, що майя користувалися не одним, а декількома календарями водночас, тісно переплітаючи їхні дати. В них був рік тривалістю в 260 діб (його умовна назва – «цолькін»), рік з 360 днів («тун») і рік з 365 днів («хааб»). Перший з них, «цолькін», налічував 13 20-денних «місяців» і 20 13-денних тижнів. У ньому числа тижня і назви днів повторюються в певній закономірності, утворюючи замкнутий цикл. Можливо, цим проміжком раніше майя відлічували час від посіву до збирання врожаю. Рік «тун» (всі ці назви придумані дослідниками!) складався з 18 20-денних місяців, можливо, у цьому проявилися уявлення давніх майя про тривалість року. І навіть коли вони згодом переконалися, що природний рік довший, вони від цього дуже зручного способу лічби часу вже відмовитися не змогли. Однак вони ввели ще один – 365-денний рік, в якому наприкінці року з 18 20-денних місяців вставляли 5 «днів без імені», що були святковими. За уявленнями майя, саме в ці дні на небі влада на рік переходила до іншого бога, відповідно і на землі відбувалася зміна правителя.

Ще одною особливістю календаря майя були його два цикли: 4- і 52-річний. Через кожні 4 роки «хааб» дні місяця знову припадали на ті ж числа місяця. Тому новий рік починався в один із чотирьох днів. А оскільки $365 \times 52 = 260 \times 73 = 18\,980$, то 52 «хааби» дорівнюють 73 «цолькінам», отже через кожні 52 роки повністю повторювалися як дні і числа місяця, так і числа 13-денного тижня. Це дозволяло побудувати «вічний календар» – так зване «*календарне коло*» майя.

З тої чи іншої нагоди майя встановлювали стели – кам'яні стовпи, умережані ієрогліфами, здебільшого з вказівкою певної календарної дати (їх виявлено близько 1500). Тож загалом компоненти класичної дати майя такі: 1) заголовний (увідний) блок, смисл якого залишається невідомим, 2) блок «покровителя місяця» – по одному на

кожні 18 місяців, 3) число 360-денних років і днів, що минули від епохи літочислення, 4) дата 260-денного циклу: число 13-денки і назва дня 20-денки, 5) назва дня 9-денки і блок «дев'ятиденка», 6) місячна дата: число місячного місяця, номер і назва місяця, кількість днів у місяці (29 чи 30), 7) дата 365-денного року: число і назва одного з 18- 20-денних місяців або п'яти додаткових днів (рис. 1. 7).

Найбільш рання з дат, відчитаних (не зовсім, зрештою, надійно) на стелах, стосується 292 р. н. е.

Питання про точність календаря майя не з'ясоване. З одного боку, назви їхніх місяців начебто були пов'язані з сезонами, як ось: Моль – «збирання врожаю», Муан – «хмарний», Кумху – «шум грози». З іншого – «сонячний» рік майя складається з 365 діб, і якщо не вставляти в нього додаткові дні, то за кожні 40 років початок нового року календаря зміщується на 10 діб, за 400 років – на 97 діб назад відносно певного астрономічного моменту (наприклад, весняного рівнодення). У деяких джерелах фактично бездоказово стверджується, нібито довжина року майя була «всього на 20 с менша за істинну», так що «помилка нашого григоріанського календаря в півтора рази більша», що це досягалося завдяки «невідомій нам системи вставок». Такі автори ігнорують те, що тоді майя мусили б ламати оту взаємноузгодженість своїх трьох календарних систем, яку бачимо в їхньому «календарному колі». Насправді ж дотепер немає жодних доказів того, що майя у свій календарний рік якось вставляли 366-й день. А беручи до уваги структуру цього календаря, можна хіба допустити, що через певний проміжок часу майя вставляли цілий місяць. Найімовірніше – через кожні 52 роки вони

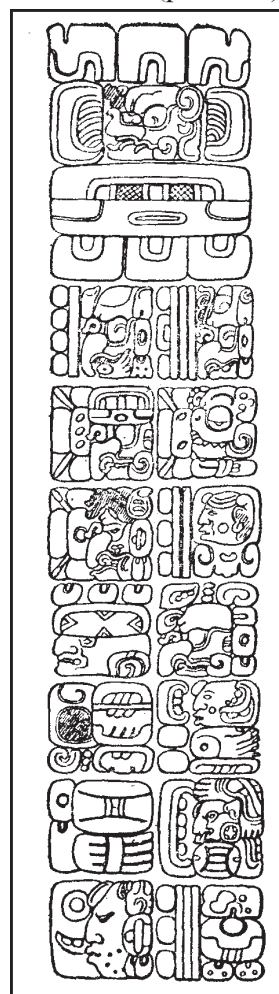


Рис. 1. 7. Компоненти календарної дати зі стели Е (Квирігуа, Гватемала).

додавали 13-денний «тиждень». Відомо, що сусіди майя – ацтеки, календар яких був начебто таким же, наприкінці кожного 52-річного періоду очікували кінця світу. Не дочекавшись його, розпочинали свято Нового року і тоді, можливо, вставляли згаданий тиждень. Але при такій вставці ці календарі були б еквівалентні юліанському.

Як і зазначено на початку цього підрозділу, скласти чітке уявлення про рівень астрономії в країнах Сходу і Нового Світу до нашої ери дуже важко. Безперечним є те, що певні здобутки тут були (про це свідчать хоча б розроблені тут складні календарні системи), але матеріали, які б довели цей високий розвиток, здається, назавжди втрачено.

Однак тут є ще один важливий аспект. Принаймні в Китаї та Індії (згодом і в Греції) сформувалися певні філософські уявлення, що стимулювали зусилля в побудові загальної картини світу. Це, зокрема, уявлення про боротьбу протилежностей (янь і інь), про спрямовуючий події принцип «дао» (шлях), його інше значення – «першоджерело всього існуючого». Це також вчення Ші Мо (IV ст. до н. е.), за яким саме завдяки «поєднанню різнорідного» виникають усі речі, тоді як «поєднання однорідного позбавляє їх продовження». І, нарешті, це вчення філософа Лю Аня (II ст. до н. е.), за яким увесь Всесвіт, Земля і небо виникли з «пустоти». У свою чергу, в давньоіндійських філософів сформувалося уявлення про існування у Всесвіті універсального організуючого начала, або принципу упорядкованості світу – «ріта», на противагу «анріті» – хаосу, темряві. Саме завдяки боротьбі цих двох начал можливе існування Всесвіту. Іншим істотним елементом цієї філософії («Рігведи») було уявлення про тісний зв'язок кожної живої істоти з усією світобудовою, з «ритмом буття», причому цей зв'язок є двобічним: людина своєю поведінкою, нормами свого життя підтримує не лише свій добробут, а й увесь світовий порядок.

РОЗДІЛ 5. ДАВНЬОГРЕЦЬКА АСТРОНОМІЯ

Як свідчать археологічні дані, вже в другому тисячолітті до н. е. на території Греції існували міста з розвинутими металургією, мореплаванням, торгівлею з іншими країнами. Однак найбільш ранніми писемними пам'ятниками давньогрецької культури, що

збереглися, й поеми Гесіода і Гомера (IX–VII ст. до н. е.). З них ми довідуємося про вміння давніх греків орієнтуватися за зорями як у мандрівках на морі, так і при проведенні тих чи інших сільсько-господарських робіт. Ось слова Гомера:

«... радісно вітру віддав паруси Одиссей богосвітлий...

Він у Плеяди вдивлявся, у пізній захід Волопаса

Та у Ведмедицю, інші ще Возом її називають.

Крутиться Віз той на місці й лише вигляда Оріона...»

Гесіод у поемі «Роботи і дні», зіставивши початки польових робіт з виглядом зоряного неба, вказував, що, зокрема, в час першого ранкового (геліакічного) сходу Плеяд (10 травня за сучасним календарем) слід братися за серп, а коли ця група зір на світанку заходить (початок листопада), настає пора орати. Якщо ввечері з моря підіймається зоря Арктур (кінець лютого), треба підрізувати виноградні лози і т. д.

Розробили давні греки і свою власну систему місячно-сонячного календаря. Очевидно, це була октаетерида (див. Вступ, § 6), її описав 540 р. до н. е. астроном Клеострат. При всіх її недоліках вона була для греків дуже зручною, оскільки в них цілий ряд свят і пов'язаних з ними урочистостей повторювався через 2 або 4 роки. Найвідоміші – це Олімпійські ігри, перші з яких нібито відбулися ще 776 р. до н. е. Очевидно, саме тому виявлений Метоном (432 р. до н. е.) значно точніший 19-річний цикл (хоча, за легендою, і був сприйнятий з великим ентузіазмом) не набув поширення, бо і в середині III ст. н. е. греки користувалися 8-річним циклом. Відомо, що через 9 років після «введення в дію» Метоном календаря-парапегми – таблиць, в яких визначальні сходи і заходи (див. Вступ, § 7), зіставлялися з фазами Місяця (точніше, з лічбою днів від неоменії), на сцені грецьких театрів з'явилася комедія Аристофана «Хмари». У ній хмари розповідають, що «боги лягають без вечері спати», бо «афіняни не в змозі погодити лічбу днів з Місяцем». Причина зрозуміла: у 19-річному циклі додатковий місяць вставляється то через 2, то через 3 роки...

Звичайно, завдяки тісним торговельним та іншим зв'язкам з народами Сходу давні греки були інформовані про їхні наукові здобутки і дещо від них запозичували. Наприклад, у своїй «Історії» (II 109) Геродот (бл. 484–425 до н. е.) зазначив, що «про полос і гномон

і дванадцять частин дня греки дізналися вів вавилонян» (полос, очевидно, – показчик тіні в сонячному годиннику напівсферичної форми). Вони запозичили також результати довгих рядів спостережень Сонця, Місяця і планет, зокрема, дані про періоди повторюваності окремих явищ – фаз Місяця, конфігурацій планет тощо. Однак найосновніше вони все ж залишили для себе: пошук першооснов буття навколишнього світу і моделювання рухів небесних світил.

§ 1. СВІТ ДАВНЬОГРЕЦЬКИХ ФІЛОСОФІВ

Загально визнано, що саме в грецьких колоніях на західних берегах Малої Азії (Іонія) і на півдні Італії та в Сицилії в VI ст. до н. е. розпочався бурхливий розвиток науки, зокрема філософії як учення про природу. Саме тут на зміну простому спогляданню явищ природи та їхньому наївному тлумаченню приходять спроби науково пояснити ці явища, розгадати справжню причину їхньої появи.

Пошук першооснови речей. Батьківщиною давньогрецької філософії є Іонія з її двома найбільшими містами – Мілетом та Ефесом. А першим із визначних грецьких філософів та одним із перших астрономів був Фалес Мілетський (бл. 624–547 до н. е.). За уявленнями Фалеса, першоосновою усіх речей у природі є вода, саме з неї нібито й утворилася Земля. Що ж до форми Землі, то, на думку Фалеса, вона є плоским круглим диском, що плаває в річці Океан. Дещо пізніше, близько 500 р. до н. е. перший грецький географ Гекатей Мілетський подав навіть діаметр цієї плити – близько 8000 км (в сучасних одиницях).

Однак мореплавці вже знали, що при пересуванні на північ деякі добре відомі їм зорі перестають ховатися за горизонт (і навпаки). Причину цього явища можна пояснити лише тим, що Земля вигнута в напрямку з півночі на південь. До такого якраз висновку дійшов учень Фалеса Анаксимандр (бл. 610–546 р. до н. е.). На його думку, Земля має форму циліндра («подібна до відрізка кам'яної колони»), вісь якого збігається з напрямком схід–захід, а висота становить $\frac{1}{3}$ його ширини. За Анаксимандром, першопричиною всього є не вода, а певна, первісна «невизначена матерія» – «апейрон», яка безмежна й вічна та перебуває в русі, переходячи з одного стану в інший. Ця невизначена матерія нібито спочатку виділила з себе протилежності – тепло й холод, завдяки яким і утворилися конкретні речі

світу. Передусім із взаємодії тепла й холоду утворилася вода. Її висихання зумовило появу вогню, повітря і землі. Зокрема, «при виникненні нашого світу з вічного начала виділилося дітородне начало теплого і холодного, з нього утворилася вогняна сфера, що охопила повітря, яке оточує землю, подібно до того, як кора оточує дерево. Коли вогняна сфера розірвалася і замкнулася у декілька кілець, виникли Сонце, Місяць і зорі».

Анаксимандр твердив, що таких світів, як наша Земля, у Всесвіті може бути безмежне число. За уявленням цього філософа Земля, перебуваючи у просторі, нічим і ніким не підтримується.

А ось як пояснював будову світу інший філософ мілетської школи Анаксімен (бл. 585 – бл. 525 рр. до н. е.). Першоосновою матерії мало б бути повітря: «з нього виходить усе, в нього повертається назад усе». При розрідженні повітря стає вогнем, при згущенні – хмарами, водою, землею, камінням, з цих речовин і виникає все інше. Анаксімен уявляв небо у вигляді кришталевого склепіння, до якого прикріплені зорі. Між небом і плоскою Землею в повітрі плавають плоскі диски Сонця, Місяця і планет. Затемнення відбувається тоді, коли світило повертається до Землі темним боком.

У творах різних давніх філософів збереглося близько 130 уривків з праць видатного мислителя, основоположника діалектики Геракліта Ефеського (бл. 544 – бл. 470 до н. е.). Суттю поглядів Геракліта є вчення про безперервний розвиток світу, основою якого є вічно живий вогонь: «Світ, єдиний з усього, не створений ніким з богів і ніким з людей, а був, є і буде вічно живим вогнем, який закономірно займається і закономірно згасає». Своє твердження «все тече, все змінюється» він сформулював ще й таким чином: «Сонце є не лише новим кожен день, а й вічно та безперервно нове». Що ж стосується конкретних космологічних уявлень Геракліта, то вони до нас практично не дійшли. Відомо лише, що він уявляв Сонце велетенською чашею, в якій скупчуються хмари вологих випаровувань, здатних самозайматися. Затемнення нібито спостерігається тоді, коли чаша повертається до нас своїм випуклим боком.

СВІТ СКЛАДАЄТЬСЯ З АТОМІВ! Важливе місце серед давньогрецьких філософів займають атомісти Анаксагор (бл. 500 – бл. 428 до н. е.), і Демокріт (бл. 460–370 до н. е.). Перший стверджував, що всі речі складаються з первісних найдрібніших і різноманітних частинок –

«гомеомерій» – насінин, які існують вічно і не перетворюються одна на одну. Спочатку нібито світ перебував у стані хаосу. Згодом Розум породив первісний вихор, з якого і виник світ. За Анаксагором, Сонце, Місяць та інші небесні тіла – це камені, що колись відірвалися від Землі і перебувають у розжареному стані внаслідок свого швидкого обертання. Проте Місяць цілком подібний до Землі: на ньому є гори і долини, його заселяють живі істоти. Метеорити ж, у свою чергу, це уламки Сонця. За висловлені погляди, за «образу богів» Анаксагора було звинувачено у безбожництві й засуджено до смертної кари, яку замінили висланням з Афін.

Демокріт був одним з найвидатніших філософів-матеріалістів античного світу. Він багато подорожував, був у Вавилоні, Єгипті, Індії, Ефіопії. Як свідчив римський філософ і політичний діяч Цицерон (106–43 до н. е.), Демокріт «сам себе позбавив зору, бо гадав, що роздумування та розмірковування розуму при спогляданні і зрозумінні природи будуть жвавішими, коли звільняться від розваги зору й перешкоди очей». Наскільки відомо, найважливіший твором Демокріта був «Мегас Діакосмос» («Велика будова світу»), про зміст якого можна лише здогадуватися. Бо злісне нищення творів Демокріта розпочалося ще за його життя учнями філософа Платона за наказом їхнього вчителя.

Першоосновою світу Демокріт вважав безмежну кількість атомів і порожнечу, в якій ці атоми рухаються. Атоми, за Демокрітом, це найдрібніші, невидимі оком, матеріальні і неподільні частинки. Вони вічні й незмінні, безмежно різноманітні за формою. Саме з них і складаються усі речі, всі тіла, зокрема і людина. У порожнечі легкі атоми падають повільніше, важчі швидше. Тому вони наздоганяють один одного, зударяються і з'єднуються один з одним спеціальними гачками. Так унаслідок зчеплення атомів утворюються найрізноманітніші речі.

Космологічні погляди Демокріта виклав філософ Діоген Лаєрцький (1-ша полов. III ст. до н. е.) у своїй десятитомній книзі «Біографії філософів» такими словами: «Він говорить, що всесвіт безконечний... Одна частина його повна, друга – порожня; їх він називає елементами (стихіями); світів же (виникає) із цього нескінченне число, і вони розв'язуються в (згадані) елементи. Виникають же світи таким чином. Виділяючись із безмежного, несеться величезна кількість

різноманітних щодо форми тіл «у велику порожнечу»; і ось вони, зібравшись, спричиняють єдиний вихор, у якому, наштовхуючись один на одного і всіляко кружляючи, вони поділяються, причому подібні (відходять) до подібних. А ті, що мають однакову вагу, внаслідок великого скупчення, вже неспроможні більше кружляти (і ось таким чином) тонкі (тільця) відступають у зовнішні частини порожнечі, начебто пролітаючи (до периферії). Інші ж «лишаються вкупі» і, сплітаючись між собою, рухаються разом і утворюють насамперед якесь кулясте скупчення».

І далі: «Остання ж відділяє від себе наче «оболонку», що обіймає в собі різноманітні тіла. При обертанні останніх, внаслідок опору центра, утворилася навкруги тонка оболонка із суцільних (мас), що постійно сходилася на периферії вихору. І таким чином виникла Земля через те, що знесені до центра (маси) «трималися вкупі». І саме периферія (що утворилася) подібно до оболонки продовжувала збільшуватися за рахунок тіл, що відокремилися зовні. А саме, несена вихором, вона чого тільки не торкалася, те приєднувала до себе. З них же деякі сплетіння (тіл) утворили сполучення, яке спершу було дуже вологим і брудним; (потім) ці (тіла) висохли і почали кружляти разом зі світовим вихором, потім, спалахнувши, вони утворили природу світил».

Забігаючи вперед, можна відмітити, що в цій картині розвитку світів є багато спільного з тим, про що через 2000 років говорили Кант, Лаплас, а особливо Вейцекер...

Таким чином, за Демокритом, Всесвіт складається з безмежного числа світів, які утворюються внаслідок зіткнень атомів. Ці світи різноманітні за своєю величиною. В одних немає ні Сонця, ні Місяця, в інших вони більші, ніж наші, в третіх їх більше за кількістю. Деякі світи взагалі позбавлені вологи, на них немає ні тварин, ні рослин. Одні світи лише зароджуються, інші перебувають у своєму розквіті, треті вже руйнуються.

Демокрит висловив ряд геніальних здогадів, що були підтверджені лише багатьма століттями пізніше. Він, зокрема, твердив, що за своїми розмірами Сонце набагато більше від Землі, що Місяць світить відбитим сонячним світлом, що Молочний Шлях є скупченням величезної кількості зір.

Століттям пізніше атомістичні ідеї Демокріта далі розвивав філософ Епікур (341–270 до н. е.), погляди якого детально виклав римський філософ Тіт Лукрецій Кар (бл. 99–55 до н. е.) у своїй поемі «Про природу речей». Як і Демокріт, Епікур (а вслід за ним і Лукрецій) вважав, що єдиною об'єктивною реальністю є рухомі матеріальні атоми і порожнеча. Невпинний рух «першопочатків речей», їх зіткнення та з'єднування утворює незліченну кількість світів:

*«... Треба нам знати, чином таким же і небо,
Місяць і сонце, й земля і моря, і всі речі навколо
Не одинокі, а їх навіть більше, ніж можна злічити.
Початки речей... Від безконечних віків безконечною силою гнані,
Власній покірні вазі, у безвісті носяться вічно
В різних сполученнях поміж собою і в різному гарті,
Що тільки можуть вони породити в перехресних дорогах -
Те і трапляється тут, що вони у цих мандрах одвічних,
Безліч пройшовши сполук, у стиканнях і різному русі
Сходяться зрештою так, що в сукупності їхній взаємній
Часто великих речей собою являють початок:
Моря, землі і небес, і різної тварі живої».*

(Цит. за кн.: П. С. Кудрявцев. Історія фізики, т. I. – К.; Рад. школа, 1951. – с. 34).

Унаслідок дальших рухів високе небо віддаляється від Землі, яка, сформувавшись, породила життя, що поступово розвивалося та урізноманітнювалося.

Варте уваги, що Лукрецій повернувся до уявлень про плоску Землю і різко виступав проти існування антиподів, проти відносності поняття «верх» і «низ».

Труднощі пізнання. Надавши навколишньому світу ім'я космос (дослівно «порядок», «окраса»), давньогрецькі філософи виявили труднощі, які стоять перед людиною в її намаганні з'ясувати закономірності будови і розвитку цього матеріального світу. Передусім це впливає з висловлювань вже згаданого Геракліта Ефеського. Першим джерелом знання про світ він назвав очі і вуха (тобто безпосередні відчуття), однак з'ясування природи речей можливе лише шляхом роздумування про побачене і почуте (тим підкреслювалася важливість узагальнюючого, абстрактного мислення). Оскільки ж «все тече, все змінюється» і «не можна двічі увійти в одну ріку», то

всі наші знання, отримані тепер і тут, є відносними. І, мабуть закономірним було те, що якраз Геракліт – автор твору про «Логос» (термін допускає різні тлумачення: Бог, доля, необхідність, вічність, мудрість, закон, загальне). Як вважають, йшлося про певну універсальну закономірність та необхідність (у китайців тоді ж було поняття «дао» – вчення про закономірність і спрямованість процесів у Всесвіті), що діє у природі. Як можна здогадуватися, питання поставлено так: усіх станів ріки ми дослідити не можемо хоча б тому, що тривалість наших перебувань біля неї обмежена, але – куди тече ця ріка?

Приділив увагу проблемі достовірності наших знань і філософ Парменід (512–400 до н. е.), засновник філософської школи елеатів (за назвою міста Елея на півдні сучасної Італії). За Парменідом, навколишній «світ речей» хоча й сприймається нашими органами відчуттів, то все ж вони не можуть дати про нього вірогідних відомостей, а лише дозволяють сформулювати певне уявлення. Буття ж як єдина реальність пізнається лише розумом. Тісно пов'язаними з уявленнями Парменіда про достовірність наших знань були його твердження щодо властивостей світу в цілому. За Парменідом, світ – це матеріальна куля, в якій ніде немає порожнечі, і тому рух неможливий, оскільки світовий простір заповнений цілковито. Світ єдиний, і в ньому немає частин, будь-яка множина – лише обман почуттів. Звідси випливає неможливість руху, виникнення, знищення. Уявлення про рух, зміни – це лише «думки смертних», тобто щоденні уявлення про світ, від яких слід відрізняти філософію як вчення про істину, недосяжну сприйняттям.

На захист цих парадоксальних поглядів Парменіда його учень Зенон Елейський (490–430 до н. е.) проаналізував суперечності, що є у поняттях руху, множини і т.д. Зокрема, аналіз труднощів, які стосуються руху він подав у своїх знаменитих *апоріях* («суперечностях у міркуваннях, які здаються непереборними»), які й тепер все ще привертають увагу філософів і які, що загальноновизнано, мали величезний вплив на розвиток науки.

Апорії поділяються на дві групи. У першій час і простір – дискретні, що складаються з неподільних малих одиниць. У другій їх уважають подільними до нескінченності. Так, апорія «Стріла» спрямована проти твердження, нібито час складається з неподільних

моментів, бо в цьому випадку рух неможливий. І, навпаки, в апорії «Ахілл і черепаха» Зенон підкреслював, що рух неможливий також, коли час і відповідно простір нескінченно подільні. Ось ці апорії.

Апорія «Стріла». Стріла, що летить, перебуває у спокої. Справді, коли будь-яке тіло, котре перебуває у спокої, займає рівний йому об'єм і коли всяке тіло, яке летить, в будь-який момент часу займає об'єм, рівний самому собі, то воно не може рухатися.

Апорія «Ахілл і черепаха». Ахілл, який наздоганяє черепаха, ніколи її не наздожене. Передовсім він повинен досягнути місця, де вона вже перебуває. За цей час черепаха відійде вперед, і Ахілл повинен наздоганяти її знову, а черепаха скористається цим, щоб пройти наступний відрізок шляху. Він неперервно наближається до черепахи, але ніколи не наздожене її.

Апорії Зенона загострили питання про властивості простору і часу. Зокрема, чи простір неперервний, тобто подільний до безконечності, чи дискретний, що складається з окремих «атомів». Анаксагор твердив, що «і в малому немає найменшого, але завжди є менше», звідки випливала можливість необмеженої подільності. З іншого ж боку, за уявленнями Левкіппа (бл. 500–440 до н.е) і Демокріта, як матерія, так і простір складаються з атомів скінченних розмірів. Ще більше, філософ Ксенократ (396–314 до н. е.) обстоював ідею і про існування неподільних атомів часу «хрононів». Не дивно, отже, що століттям пізніше після Зенона, Аристотель з'ясував суть апорії «Ахілл і черепаха» так: Ахілл дожене черепаха, як тільки йому буде дозволено перейти межу. Інакше – як тільки досягне межі подільності простору.

Так було виявлено діалектичну єдність перервного і безперервного, спокою і руху, неможливість поділу шляху і часу до нескінченності. Ставало очевидним, що суперечність тут – в самій природі руху, що йдеться не про помилки розуму, а про відображення складності самої природи руху. Зенона було названо першим діалектиком, людиною, яка зуміла розглядати дійсність в її русі, розвитку і суперечностях.

Зенон першим серед грецьких філософів перейшов від висновків за аналогією до строго логічних доказів.

§ 2. ПІФАГОРІЙСЬКЕ «НЕБО ІЗ ЧИСЕЛ»

У VI ст. до н. е. в Кротоні, грецькій колонії на півдні Італії, виникла так звана Піфагорійська школа, засновником якої був філософ Піфагор (бл. 580–500 до н. е.). Народившись на острові Самос, він багато мандрував по Греції і за її межами, був у Вавилоні (традиція іменує його учнем халдеїв), Індії, в Єгипті. Є відомості, що він «провів 22 роки в єгипетських храмах, де вивчав астрономію і геометрію і брав участь у всіх священних церемоніях».

Як гадають, саме Піфагор, видатний математик, уперше висловив думку про те, що Земля (як і інші небесні тіла) має форму кулі, котра висить у Всесвіті без усякої підтримки. Уявлення ж про те, що небесні тіла мають кулясту форму, Піфагор почерпнув зі спостережень за зміною фаз Місяця: адже лінія, що відділяє його світлу і темну поверхню, є кривою. А цього б не було, якби Місяць був плоским диском! Аналогічного висновку щодо Землі (її форми) можна було дійти, слідкуючи, як зникає за горизонтом корабель, що вийшов з гавані: спочатку зникає корпус і лише згодом вітрила. Ще одним доказом кулястості Землі могла бути для Піфагора округла форма земної тіні, що падає на Місяць при його затемненні. Піфагор був автором декількох творів, зокрема «Про природу», які, однак, до нас не дійшли.

Як згодом зауважив Аристотель, піфагорійці дійшли висновку, що при вивченні навколишнього світу дуже важливу роль відіграють числа, тобто кількісна оцінка конкретних характеристик кожного явища. Тому вони сформулювали такі положення: «Небо – це гармонія і число», «Число є сутністю Цілого», «Все, що існує, можна уподібнити числу». Аристотель зробив висновок: «Вони побудували небо із чисел». Як зазначили А. Й. Єремєєва і Ф. О. Цицин, таке утвердження ролі числа і правильних числових співвідношень у Всесвіті стало першим кроком до математизації природознавства.

За всіма даними, піфагорійці вперше в історії науки розробили математичну модель Всесвіту. Очевидно, сам Платон висловив думку, за якою кожна з семи планет (сюди зачислені Сонце і Місяць) розташовані на своїй сфері так, що при обертанні цих сфер виникає гармонійна музика. Відстані ж між сферами нібито відповідають музикальним інтервалам дорійського ладу: від Землі до Місяця – 1 тон, від Місяця до Меркурія – $1/2$ тону, від Меркурія до Венери –

$1/2$ тону, від Венери до Сонця – $1 1/2$ тону, від Сонця до Марса – 1 тон, від Марса до Юпітера – $1/2$ тону, від Юпітера до Сатурна – $1/2$ тону і від Сатурна до сфери нерухомих зір – $1/2$ тону. Інтервалу в 1 тон мала б відповідати відстань 126 000 стадіїв (одиниця довжини, що дорівнює відстані, яку проходить людина за час, протягом якого диск Сонця сходить над горизонтом або ховається за ним; за ці орієнтовно дві хвилини людина проходить близько 185 м). Звідси випливало, що відстань до Місяця складає 23 310 км (применшена майже в 21 раз), відстань до Сонця мала б бути усього близько 82 000 км, до сфери нерухомих зір – близько 140 000 км.

Знаменним є те, що піфагорійці не приймали тезу, нібито в центрі світобудови є Земля. Навпаки, в центрі світу вони помістили центральний вогонь («хестію»), навколо якого і обертається Земля та інші світила. Таку детальнішу картину світобудови накреслив філософ Філолай (бл. 470 – бл. 399 до н. е.). У цій моделі прийнято, що Земля обертається і навколо своєї осі таким чином, що в кожному момент часу ми згаданого центрального вогню бачити не можемо. Саме ж Сонце – прозора наче скло куля, яка відбиває світло, що падає на нього від центрального вогню. Щоб довести число сфер до десяти (це число, на думку піфагорійців, є священним), Філолай припустив, що навколо центрального вогню обертається ще й «протиземля», яку ми просто не можемо бачити, оскільки вона увесь час міститься за центральним вогнем.

Слід відзначити, що ще в VI ст. до н. е. піфагорієць Гікетій висловив думку: Земля, перебуваючи в центрі світу, обертається протягом доби навколо своєї осі. Згодом таких самих поглядів дотримувався і філософ Гераклід Понтійський (бл. 390 – бл. 310 до н. е.), за яким планети Меркурій і Венера обертаються навколо Сонця і разом з ним – навколо Землі. Отже в піфагорійців вже був правильний здогад про те, що зміна дня й ночі обумовлена обертанням Землі навколо своєї осі!

Водночас, напевне під впливом вавилонських астрологів, у Піфагора і його учнів було переконання в безперервній повторюваності всіх подій. В одному із текстів читаємо: «Піфагор каже.., що все, що коли-небудь трапалося, повториться через певний період і що ніщо насправді не є новим». Тому згодом учень Аристотеля Евдем скаже так: «Якщо вірити піфагорійцям, то я в майбутньому,

оскільки все повторюється згідно з Числом, знову буду розповідати вам тут казки, тримаючи цю тростину у своїй руці, тоді як ви будете сидіти переді мною, як зараз сидите; і все інше буде таким же».

Про цей проміжок часу, названий «Великим роком» або ще «Досконалим роком» вже згадувалося раніше (Вступ, § 4). Він мав би бути періодом, за який всі планети повертаються в точку, з якої вони почали свій рух. «Найповніші дані» про нього, нібито були у Бероса, жерця Бела, який переїхав з Вавилону в Іонію і близько 280 р. до н. е. заснував астрологічну школу на острові Кос. У Сенеки виявлено такий фрагмент: «Берос... стверджує, що течія зір визначає світову пожежу і потоп. Пожежа охоплює Землю, коли всі зорі, які тепер блукають різними шляхами, зберуться в сузір'ї Рака..., а потоп грозить, коли вся множина зір зустрічається в Козорозі».

Усе це було тісно пов'язане з вірою в зоряних богів, з ідеєю безсмертя і переселення душ, над чим також роздумував Піфагор. В одному з текстів читаємо: «Ніхто не може з впевненістю сказати, про що він розмовляв зі своїми друзями, оскільки вони зберігали незвичайну мовчанку. Однак відомим сталося ось що: по-перше, він каже, що душа безсмертна; далі, що вона переселяється в інші види живих істот; також що всі події повторюються через певні строки і що нічого немає справді нового... Здається, всі ті вчення Піфагор першим приніс у Грецію» (Ван-дер-Варден, 1991, с. 158).

§ 3. Моделі Платона й Евдокса

Найвище узагальнення. Усвідомлюючи явища і речі навколишнього світу, людина не могла не поставити питання про причину появи цих речей. Твердження «світ існує вічно», сформульоване деякими філософами, іншим здавалося неприйнятним. Зокрема, Платон (427–347 до н. е.) заявив: «Все, що виникло, потребує певної причини».

Цю тезу про існування Бога-Творця висловив ще за 200 років перед Платоном сучасник Анаксимандра Ксенофан з Колофона (Мала Азія). Він виступив проти антропоморфних уявлень про світ (усього пантеону давньогрецької міфології, в якому боги наділені людськими рисами) і стверджував, що існує єдиний нерухомий, «сфероподібний» бог, який «все бачить, весь мислить, весь чує», його Ксенофан ототожнював із небесною сферою.

Платон, (як це впливає з його творів, передовсім з поетичного опису в «Тимей») визнавав ідею Розумного начала, яке організовує Всесвіт, яке діє в кожній точці Космосу. Маючи на увазі Бога-Творця, він писав: «Обриси ж він надав Всесвіту такі, які були б для нього пристойні і йому споріднені... Отож він шляхом обертання округлив космос до стану сфери, поверхня якої скрізь однаково віддалена від центра». І ще: деміург (творець), надаючи форму й порядок первісній матерії, що перебувала в стані хаосу, «надумав створити деякий рухомий образ вічності і ось, влаштуваючи разом небо,.. створює вічний образ, який бере свій початок у числі (обертається за законом числа) – те, що назвали ми часом». Отже час народжується разом з появою Космосу: «Час породжений як образ вічності. Але вічність перебуває вічно, час же є обертання неба. Частинками часу є ніч, день, місяць і інше, і тому поза природою світу немає і часу, але разом зі світом існує і час». І ще: «Для породження часу породжені Сонце, Місяць і планети».

У «Тимей» ж Платон говорить про Космос як про живу істоту, що має душу і здатна розуміти: «Бог створив єдину видиму живу істоту, що містить всередині себе всіх тварин, які за природою споріднені з нею».

Варте уваги, що, за Платоном, справжній світ складають ідеї, «духовні сутності», а видимий світ є лише їхніми зовнішніми проявами. Водночас для нього всі зорі були «божественними сутностями, з тілом і душею; їх видима форма складалася в основному з вогню для того, щоб вони виглядали найяскравішими і прекрасними, а для подібності з Всецілим вони робилися кулястими» (Тимей 40 а).

Заторкнув Платон і питання про основні «цеглинки», з яких складається речовина навколишнього світу. Ними мали б бути чотири відомі стихії, кожній з яких він «надав» певну геометричну форму – одного з правильних багатогранників (так звані «платонові тіла»). Частинки вогню – тетраедри (піраміди), повітря – октаедри, води – ікосаедри (20-гранники), частинки землі, як найбільш стійкі, – куби. Крім цього, Платон увів у грецьку натурфілософію поняття про п'ятий елемент – світовий ефір, що нібито заповнює Всесвіт, частинки ефіру мали б мати форму додекаедра. Далі, за винятком землі, всі стихії нібито діляться на простіші складові – видовжені трикутники. Розвиток будь-якого тіла мислився можливим лише у

випадку, якщо в його склад входили різні елементарні трикутники, оскільки лише у цьому випадку є боротьба різнорідних складових, що й веде до якісних змін – до розвитку. Лише земля, за Платоном, залишається незмінною і в інші стихії не переходить.

ПРО СФЕРИ ПЛАНЕТ. У своїй праці «Держава» Платон описує вісім сфер, на яких прикріплені планети і зорі, причому колір кожної сфери відповідає кольору «її» планети. Інтервали між сферами нібито в цілому складають октаву; на кожній зі сфер сидить сирена і співає у певній тональності... Проте, обертаючись, кожна зі сфер повільно повертається в напрямку, протилежному обертанню цілого. При цьому швидкості обертання сфер Сонця, Меркурія і Венери рівні між собою.

Детальніше про світобудову Платон говорить у «Тімеї», де описується створення душі і світу. Передусім зазначається, що, всі матеріальні тіла притягаються до Землі, яка перебуває у центрі світобудови, оскільки є «устремління подібного до подібного». У процесі формування утворилися два кола, що перетинаються під гострим кутом. Платон писав (маючи на увазі себе): «Зовнішнє коло він назвав рухом Подібності, внутрішнє – рухом Відмінності. Обертання кола Подібності відбувалося вправо, було боковим, а обертання кола Відмінності – вліво, по діагоналі (тобто похило). Він надав найбільше значення першому, яке залишалося єдиним і неподільним, тоді як друге розсік на сім нерівних кіл, з інтервалами у подвійному або потрійному відношенні; і він встановив, що ці кола повинні рухатися у протилежних напрямках, три – з однаковими швидкостями, а чотири інших – з іншими різними швидкостями».

Йдеться, отже, про те, що зовнішнє коло зображає «справжній» рух, тобто погоджений з рухом зовнішньої сфери зір (зліва направо), це добовий. Внутрішнє коло – екліптика, воно розщеплене на сім шарів і зображає рух (справа наліво) Сонця, Місяця і планет зі своїми особливими періодами. Та, як висловився Платон, «влада належить зовнішньому колу», тобто добовому рухові.

З того, що сказане Платоном про інтервали між колами (точніше – частинами внутрішнього кола), було зроблено висновок, що він розподілив планети на таких відстанях від Землі (приймаючи відстань Земля-Місяць за одиницю): Місяць – 1, Сонце – 2, Венера – 3, Меркурій – 4, Марс – 8, Юпітер – 9, Сатурн – 27. Щоправда, назви

всіх планет знайдено лише в його посмертному творі «Епіноми». В «Тимей» ж написано так: «Місяць він примістив на найближчу до Землі орбіту, на другій орбіті над Землею він розташував Сонце; за ним – ранкову зорю і зорю, присвячену Гермесові, – на орбітах зі швидкостями, рівними швидкості Сонця, але з протилежними силами (тобто напрямками), внаслідок чого вони обидві почергово доганяють Сонце, а тоді воно наздоганяє їх... Рух же інших люди не збагнули, за винятком деяких окремих речей..., і вони ледве чи знають, що час визначається за переміщенням тіл, які так недосяжні, а рухи яких так дивно заплутані».

Саме у Платона вперше зустрічаються, як назви планет, імена богів, які настільки збігаються з вавилонськими, що немає жодного сумніву щодо впливу Сходу на грецьку астрономію.

Цікаво, що принаймні в двох місцях у «Тимей» Платон висловився не зовсім чітко, внаслідок чого в багатьох читачів створювалося переконання, нібито він в останні роки свого життя допускав можливість осьового обертання Землі. Так, він писав: «Але Земля, ваша прийомна мати, обертається навколо осі, яка проходить через увесь Всесвіт; її він зробив сторожем і творцем ночі і дня...» («Тимей», 40 b–c). Однак дослідники все ж заперечують таке тлумачення тексту.

Виходячи з положення, що справжній світ досконалий і що його можна пізнати лише розумом, Платон закликав: «Ми повинні вивчати астрономію цілком так само, як математику, за допомогою теорем...» І ще: «Справжній астроном має бути найвищою мірою мудрим, не таким, хто, як Гесіод та інші, займається сходами і заходами, а тим, хто досліджує сім обертань, що регулюються восьмим рухом».

Платон категорично стверджував, що рухи небесних тіл є коловими, рівномірними і винятково правильними (як згадано, такої думки дотримувалися піфагорійці: «внаслідок своєї божественної природи небесні тіла рухаються найдосконалішим з усіх рухів – рівномірним коловим рухом»). І, як згадував згодом Сімпліцій, у своїх усних дискусіях Платон пропонував усім, хто вивчає астрономію, розв'язувати питання: знайти, за допомогою яких рівномірних і правильних колових рухів можна «спастися явища, що їх проявляють планети».

Модель Евдокса. Розробку моделі, що давала б можливість розрахувати («механічно відтворити») рух кожної з планет на небесній сфері, можливо, вперше здійснив учень Платона Евдокс (бл. 408 – бл. 355 до н. е.). Евдокс, як і Платон, побував у Єгипті. Згодом, обговорюючи проблему рухів планет, римський філософ Сенека (бл. 3 до н. е. – 65 н. е.) написав: «Евдокс був першим, хто приніс знання про ці рухи у Грецію». Варте уваги і таке місце з книги Аристотеля «Метафізика»: «Тому математичними мистецтвами вперше почали займатися в Єгипті, де жерці мали достатньо багато часу в своєму розпорядженні...»

Евдокс був автором твору «Феномени», що стала зразком для поеми Арата під тою ж назвою («Явища»). Оскільки ім'я Евдокс перекладається «славетний», то замовлення македонського царя Антігона надати книзі Евдокса Кнідського віршовану форму нібито звучало так: «Зроби Славетного ще славетнішим».

Отже, «встановивши» нерухомо Землю в центрі світу, Евдокс поклав, що рух кожної планети регулюється декількома сферами, «вкладеними» одна в одну. Перша з них (зовнішня) здійснює оберт навколо осі за добу зі сходу на захід. Вісь другої сфери нахилена до осі першої під деяким кутом (для Сонця – $23,5^\circ$), сама ж сфера обертається з заходу на схід (для Сонця її період обертання дорівнює рокові). Такі ж сфери для Місяця і планет також оберталися навколо осі, перпендикулярної до екліптики, однак для кожного світила зі своїм власним сидеричним періодом (проміжком часу, за який світило здійснює повний оберт на екліптиці). Для Місяця була введена ще третя сфера, щоб пояснити його відхилення від екліптики, її вісь становила з віссю екліптики кут 5° , а період обертання – 18,6 року. Третя сфера була і для Сонця, однак зрозуміти її призначення неможливо. Щоб описати відхилення планет від екліптики та їхнє зміщення в протилежний бік (назадній рух), Евдокс до вже двох згаданих сфер додав ще дві – третю і четверту. Вісь обертання третьої сфери лежала в площині екліптики, а вісь четвертої складала з нею невеликий кут, підібраний для кожної планети. Обидві ці сфери оберталися з однаковою кутовою швидкістю, але в протилежних напрямках. Планета ж була прикріплена до екватора внутрішньої, четвертої сфери. Період їх обертання приймався рівним синодичному періоду обертання відповідної планети. В підсумку планета

описувала на небі фігуру типу нахиленої вісімки – «гіппопеду» (дослівно «пути коня»).

Опис моделі Евдокса дав Аристотель у «Метафізиці»: «Евдокс вважав, що рух Сонця і Місяця відбувається у кожного в трьох сферах, з яких перша – це сфера нерухомих зір, друга має рух по колу, що проходить посередині сузір'їв, третя – по колу, яке відхиляється по широті від Зодіаку (при цьому на більшу широту відхиляється те коло, по якому рухається Місяць, ніж те, по якому рухається Сонце). Рух кожної з планет, на думку Евдокса, відбувається у чотирьох сферах, і з них перша і друга – ті ж, що й вказані вище (адже сфера нерухомих зір є сфера, що несе з собою всі інші, і та, що розташована нижче, і має рух по колу, яке проходить посередині сузір'їв Зодіаку, також спільна для всіх); у третьої сфери перебувають полюси всіх планет на колі, яке проходить посередині сузір'їв Зодіаку, а рух четвертої здійснюється по колу, нахиленому до середнього кола третьої; і полюси третьої сфери у кожної з інших планет свої, а в Афродіти і Гермеса одні і ті ж».

Деякі детальніші відомості про теорію Евдокса є в коментарях Сімпліція (V ст. н. е.), однак вони неповні: є дані про періоди обертання сфер, проте відсутні дані про кути нахилів осей сфер. Для Юпітера і Сатурна, якщо прийняти нахил осей четвертої і третьої сфер відповідно в 13° і 6° , є можливість отримати досить близькі до спостережуваних дуги назаднього руху, для інших планет це зробити неможливо. Сімпліцій згадує, що відомий астроном Калліп (між 370 і 300 до н. е.) додав до чотирьох сфер Марса і Венери ще п'яту, у цьому випадку задача розв'язується. Але як це зробив Калліп – невідомо. Число сфер у Калліпа сягало 34.

Отже, за допомогою обертання 27 сфер Евдокс пояснював видимі рухи світил. Однак його модель суперечила спостереженням: адже видимий блиск планет, особливо Венери і Марса, істотно змінюється. А це природніше пояснити тим, що безперервно змінюється з часом відстань до тої чи іншої планети. «Удосконалення» системи світу Евдокса здійснив Аристотель, однак змін у блиску планет і він ще не прийняв до уваги.

Тут ще раз доцільно згадати модель Геракліда Понтійського (учня Платона), яку було названо «єгипетською» і за якою Венера і Меркурій оберталися навколо Сонця, а вже разом з ним – навколо

Землі. Модель ця не була прийнята сучасниками Геракліда. Головною причиною було те, що вона суперечила уявленню про єдиний центр обертання у Всесвіті, як також уявленню, що Земля є нерухомою і перебуває у цьому центрі.

§ 4. СИСТЕМА СВІТУ АРИСТОТЕЛЯ

Аристотель (384–322 до н. е.), як його часто іменували – Стагірит (бо походив з м. Стагіри, що в Фракії, у північно-східній частині Балканського півострова) – видатний грецький філософ, учений-енциклопедист, який узагальнив наукові досягнення своїх попередників, звів їх у єдину систему та істотно просунув уперед. Проблеми будови Всесвіту і суті процесів, що в ньому відбуваються, він розглянув у трьох своїх головних книгах: «Фізика», «Метафізика» та «Про небо». Однак погляди Аристотеля, та й вся його фізика, суперечливі, а в ряді аспектів просто помилкові. З одного боку, він сформулював тезу, за якою наука повинна пояснювати навколишній світ, опираючись на експеримент і спостереження, «виганяючи з фізики геть усяку вигадку». І водночас він же, всупереч своїм вихідним постулатам, допустив ряд дуже грубих помилок. Це й дало згодом, але аж через 1500 років, французькому вченому П'єру Рамусу (1545–1572) підставу заявити: «все, що лише не стверджував Аристотель, є брехливим».

Вихідні принципи. Передовсім слід зазначити, що Аристотель вважав матерію хаотичним, сирим та інертним матеріалом, який безперервно змінюється під дією активного начала – «форми». Граничною, найвищою «формою» є першодвигун – Творець, що перебуває поза світом.

Аристотель вважав, нібито зміни у світі відбуваються внаслідок боротьби протилежних якостей – тепла і холоду, сухості і вологості. Попарно з'єднуючись, вони утворюють первісні елементи: теплий і сухий вогонь, тепле і вологе повітря, холодну і вологу воду, холодну і суху землю. З них далі і формуються всі речі у світі.

За Аристотелем, стихії вода і земля природним чином намагаються рухатися до центра світу («вниз»), тоді як вогонь і повітря рухаються «вгору», до периферії і тим швидше, чим більше вони наближаються до свого «природного місця». Тому в центрі світу й розміщена Земля, над нею розташовані вода, повітря і вогонь. Отже,

за Аристотелем, Всесвіт обмежений у просторі, хоча його рух вічний, не має ні кінця, ні початку. Однак це можливе нібито лише тоді, коли існує ще й інша, незмінна та незнищувальна форма матерії – ефір, небесна «п'ята сутність» («квінта есенція»). Саме для ефіру, з якого нібито складаються усі небесні тіла, коловий рух – це природний стан. «Зона ефіру» мала б розпочинатися близько Місяця і простягатися вгору, тоді як нижче Місяця міститься світ чотирьох елементів. У верхні шари цього світу, де змішуються повітря і вогонь, знизу підіймається пара. Займаючись і згораючи, вона створює ефект падаючої зорі або комети.

Ось як описує своє розуміння світобудови сам Аристотель: «Сонце і планети обертаються навколо Землі, що перебуває нерухомо у центрі світу. Наш вогонь за своїм кольором не має ніякої подібності до сонячного сліпучобілого світла. Сонце не складається з вогню; воно є величезним скупченням ефіру, теплота Сонця спричинюється дією його на ефір під час обертання навколо Землі. Комети є швидкоминаючими явищами, які швидко народжуються в атмосфері і так само швидко зникають. Молочний Шлях є не що інше, як випари, запалені швидким обертанням зір навколо Землі... Рухи небесних тіл, загалом кажучи, відбуваються значно правильніше, ніж рухи, що їх зауважуємо на Землі; бо, оскільки тіла небесні досконаліші від усіх інших тіл, їм личить найбільш правильний рух і разом з тим найпростіший, а такий рух може бути лише коловим, тому що в цьому випадку рух буває разом з тим і рівномірним. Небесні світила рухаються вільно подібно богам, до яких вони ближче, ніж до мешканців Землі; тому світила при русі своєму не потребують відпочинку і причину свого руху містять у собі. Вищі ділянки неба, більш досконалі, що містять у собі нерухомі зорі, мають тому найдосконаліший рух – завжди праворуч. Що ж стосується частини неба, найближчої до Землі, а тому і менш досконалої, то ця частина є місцезнаходженням значно менш досконалих світил, якими є планети. Ці останні рухаються не лише праворуч, а й ліворуч, і при цьому по орбітах, нахилених до орбіт нерухомих зір. Усі важкі тіла прямують до центра Землі, а оскільки будь-яке тіло прямує до центра Всесвіту, то і Земля повинна перебувати нерухомо у цьому центрі».

Аристотель розрізняв рухи «небесних» тіл по колових орбітах («вічні рухи») і рухи «земних» тіл, які, навпаки, вічними бути не

можуть. Останні, мовляв, поділяються на «природні», чи «самовільні», які нібито пов'язані з вільним рухом тіла «на своє місце», і «штучні», або «насилницькі», для створення яких потрібна сила, котра, діючи на тіло, стає причиною такого руху. Середовище, в якому відбувається рух (повітря, вода), має здатність «і рухати і рухатися». Тому кинуте тіло нібито неперервно підштовхується далі середовищем, котре також зазнає руху.

Не може не дивувати і таке твердження Аристотеля: «Більша кількість [вогню] рухається уверх швидше, ніж мала. Також більша кількість золота чи олова рухається вниз швидше, ніж мала; так відбувається з усіма важкими тілами». Сказане він уточнює так: «Коли якась вага проходить якусь відстань за певний час, то більше тіло пройде ту саму відстань за коротший час, і відношення ваг одна до одної буде відповідати відношенню часових проміжків один до одного, тобто якщо половина ваги пройде певну відстань за k , то ціла вага пройде її за $1/2k$ ». Як бачимо, Аристотель вважав, нібито швидкості падіння тіл пропорційні їхній масі...

Річ ясна, створити наукову картину світу на таких неправильних уявленнях про закони руху тіл було неможливо. Те ж, що було створене, в багатьох відношеннях не мало наукового обґрунтування і згодом було відкинуте.

Модель світу. Будуючи свою систему світу, Аристотель використав уявлення Евдокса про концентричні сфери, на яких містяться планети і обертаються навколо Землі. Першопричиною цього руху мав би бути «першодвигун» – особлива сфера, яка розташована за сферою нерухомих зір і яка змушує рухатися всі останні. Але ж за цією моделлю у кожній з планет лише одна сфера обертається в «нормальному» напрямку, зі сходу на захід, а останні три обертаються у протилежний бік. Тому Аристотель вважав, що дія цих трьох сфер має компенсуватися додатковими трьома внутрішніми сферами, які належать цій самій планеті, так що на наступну планету (крім останньої і Місяця) діє лише добове обертання. Тому в його системі світу рухи небесних світил описано за допомогою 55 твердих кришталевих сферичних оболонок. Згодом у системі світу Аристотеля виділяли вісім концентричних шарів (небес), які передавали свій рух один одному. У кожному такому шарі і налічувалося 7 сфер, що рухали «кожна свою» планету (рис. 1. 8).

Розглядаючи питання про відстані до окремих небесних тіл, Аристотель дійшов висновку, що планети містяться від Землі далі,

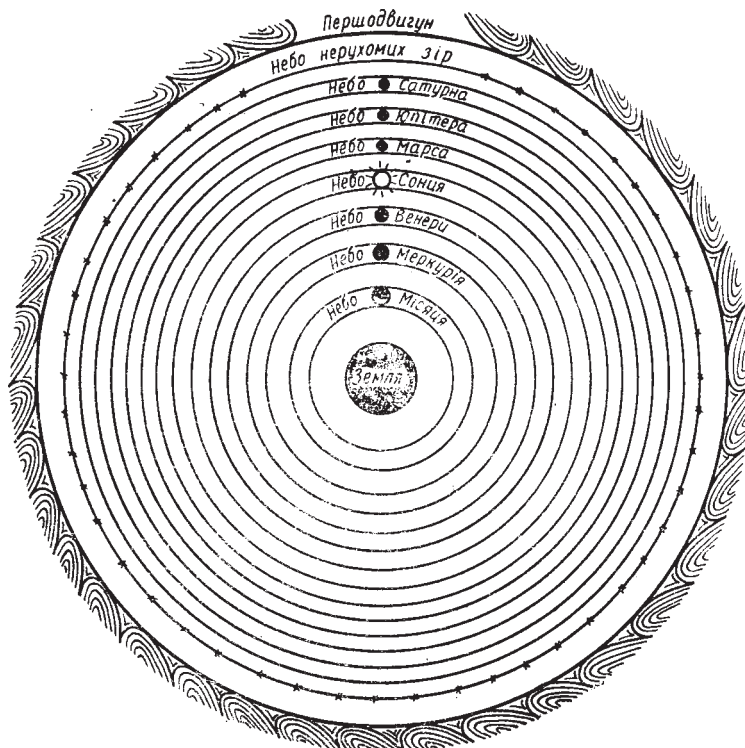


Рис. 1. 8. Модель світу за Аристотелем, якою вона приймалася в середньовіччя.

ніж Місяць і Сонце, а відстань до сфери зір принаймні у 9 разів більша, ніж відстані від Землі до Сонця.

Найсерйознішим чином і всебічно Аристотель розглянув питання форми Землі і Місяця. На підставі вже згаданих вище аргументів (кривина лінії, що відділяє світлу і темну частини Місяця; округла форма земної тіні, що падає на Місяць при його затемненні тощо) він довів, що як Земля, так і Місяць мають форму кулі. Аристотель вказав і розміри Землі: «Далі математики, які обчислили коло Землі, вважають його рівним приблизно 400 тисячам стадіїв, а з цього ми робимо висновок, що Земля не лише має сферичну форму, а й що об'єм її незначний порівняно з небом».

Прийнявши стадій рівним 157,5 м або 185 м (важко сказати, який саме використав Аристотель), знаходимо довжину земного екватора 63 000 або 74 000 км при справжньому значенні 40 000 км.

Аристотелеві вже були відомі міркування про те, що не Сонце обертається навколо Землі, а Земля разом з іншими планетами обертається навколо Сонця. Та проти останнього він висловив справді серйозний науковий аргумент: якби Земля рухалася у просторі, то цей рух призводив би до регулярної зміни кутових відстаней між двома довільно взятими парами зір, чого не зауважив ніхто з відомих йому астрономів. Цей річний паралактичний рух зір було виявлено лише через 2150 років після Аристотеля!

Короткі висновки:

1. Усвідомивши себе і пізнаючи навколишній світ, людина на підставі своїх спостережень та їх узагальнення вже в доісторичні часи намагалася збудувати собі певну картину світу (яка довгий час була лише міфологічною). Драматизм ситуації полягав у тому, що, по-перше, тривалий час людина надто довіряла своїм відчуттям і, по-друге, проявляла схильність до необмеженої екстраполяції відомого на невідоме, тенденцію поширювати отримані в найближчому оточенні знання на далекі, недосяжні для безпосередньої перевірки закутки Всесвіту. Водночас люди навчилися використовувати набуті знання для потреб свого життя (передбачення розливу ріки Ніл за ранковим сходом зорі Сиріус, системи календарів тощо).

2. Беручи до уваги принцип найменування сузір'їв (зокрема зодіакальних), можна зробити висновок, що певні елементи астрономічних знань з'явилися в людей вже принаймні за 6000 років до н. е. Зокрема, у Вавилоні принаймні за 1000 років до н. е. були відомі п'ять планет і для опису їхнього нерівномірного руху (а також Місяця) тут було винайдено оригінальний математичний спосіб – лінійну зигзагоподібну функцію. Праці й загальні уявлення піфагорійців у Греції про роль числа і пошук числових співвідношень при з'ясуванні будови Всесвіту стали першим кроком до математизації природознавства.

3. Завдяки працям давньогрецьких філософів вже за 500 р. до н. е. було сформульовано питання про властивості і природу елементів речовини, з якої побудований навколишній світ, і висловлено певні гіпотези – почавши від уявлення Анаксагора, за яким небесні

світила – це брили скель, що відірвалися від Землі і потім розжарилися внаслідок тертя, уявлення Левкіппа і Демокріта про атоми, Платона й Аристотеля про ефір. Сформульовано питання про обмеженість чи нескінченність Всесвіту в просторі, його породження в минулому чи вічність існування, як також – про можливість існування різних всесвітів, «одні з яких перебувають у розквіті, інші в цей час можуть зароджуватися, треті гинути».

4. Винятково важливою для подальшого розвитку астрономії була система ідей, сформульованих Платоном та Аристотелем. Загально-визнано, що саме Платон розвинув уявлення про наукові поняття як об'єктивні знання, що не залежать від суб'єктивного сприйняття. Він вперше висловив ідею, що і час народжується разом з появою Космосу: «поза природою світу немає і часу, але разом зі світом існує й час». Єдиним шляхом до істини Платон проголосив вивчення кількісних співвідношень у явищі і речі. «В цілому запропонований Платоном метод пізнання – через вироблення строгих «наукових понять», математизацію і раціоналізацію пізнання – став дійовим стимулом розвитку сучасного нам типу науки, оскільки виділив науку з натурфілософії... Платон є справжнім родоначальником ідеї математичної астрономії, оскільки він першим... звернувся до астрономів-сучасників із закликом і програмою описати всі небесні явища, розклавши їх на прості елементи...» (А. Й. Єремєєва, Ф. О. Цицин, с. 74).

У свою чергу, Аристотель дав незрівнянно чіткіші визначення простору і часу. Для нього простір – це щось, що вже було (або могло бути) заповнене матерією, тоді як за межами матеріального світу не існує і простору, час же – «міра руху, і немає руху без тіла фізичного». Аристотеля вважають засновником першої, що стала загальноприйнятою, природничонаукової картини світу. У тому ж, що спостережуваний матеріальний світ він поділив на світ земних і світ космічних явищ, вбачають те, що великий мислитель, можливо, першим усвідомив різний прояв природних законів на різних масштабних рівнях природи, що він «виступив проти невиправданої екстраполяції – примітивного поширення звичайних земних явищ на весь Космос» (там же). Вже в той далекий час Аристотель зауважив, що за об'єктом дослідження астрономія близька до фізики, а за методами – до математики, і тому відносив її «до найбільш фізичних з математичних наук», як про це він сказав у своїй праці «Про небо».

ЧАСТИНА II. ТРИУМФ І ПАДІННЯ ГЕОЦЕНТРИЗМУ

...якою б нікчемною не була сума людських знань, завжди з'являлися... мудреці, які намагалися на підставі цієї найменшої кількості наукових даних відтворити картину світу.

О. О. Фрідман.

Як ми вже бачили, становлення астрономії розпочалося зі здолання наївних міфологічних уявлень про навколишній світ, з вироблення певного мінімуму загальних понять, нагромадження даних спостережень і більш чи менш вдалим спроб скласти тепер вже значно конкретніше та обґрунтованіше уявлення про будову й розвиток цього ж навколишнього світу. При цьому від астронома очікували знання особливостей руху «блукаючих світил» – планет і вимагали вміння розрахувати їхнє положення на десятки років наперед чи назад (фактично упродовж століть астрономи підтримували своє існування укладанням гороскопів...). Інакше кажучи, потрібна була достатньо проста і зрозуміла модель чи система світу, знаючи параметри якої та певні вихідні (початкові) дані, можна було б провести ці обчислення. Її-то, цю модель, і розробив давньогрецький астроном Клавдій Птолемей (II ст. н. е.), значною мірою ґрунтуючись на результатах спостережень і на ідеях свого земляка і попередника Гіппарха (II ст. до н. е.).

Історики науки схильні стверджувати, що згадана модель світу могла з'явитися якраз у Греції чи на її підлеглих землях. Ось конкретно слова О. Нейгебауера: «У плавильному горні «еллінізму» розвилася та форма науки, яка згодом поширилася скрізь від Індії до Західної Європи і яка панувала аж до створення сучасної науки в часи Ньютона».

Як відомо, епохою еллінізму названо проміжок часу орієнтовно від 323 до 100 р. до н. е. У цей період засноване 333 р. Александром Македонським (356–323 до н. е.) місто Александрія стає центром нової грецької науки і культури. Сюди переселилися деякі учні Аристотеля з Афін. Тут було засновано знаменитий Музеум (фактично перша у світі Академія наук) з чудовою бібліотекою та астрономіч-

ною обсерваторією. Як зауважив А. Беррі, упродовж наступних п'яти століть всі хоч трохи значні астрономи, за винятком великого Гіппарха, були александрійцями.

З середини II ст. до н. е. Греція потрапила в залежність від Риму, а з 30 р. до н. е. та ж участь спіткала і Єгипет. Проте Александрія ще декілька століть залишалася видатним науковим центром, центром еллінізму, в «плавильному горні» якого поєдналися здобутки давньогрецької філософії з усіма досягненнями астрономів і математиків Вавилону та інших країн Сходу.

В Александрії видатний давньогрецький астроном Аристарх Самоський (бл. 310–230 до н. е.) вперше здійснив спробу геометричним методом встановити відносні відстані Місяця і Сонця, як також розміри цих світил. В Александрії інший видатний математик та астроном Ератосфен (бл. 276–194 до н. е.) здійснив (з високою точністю) вимірювання діаметра Землі. А, головне, якраз в Александрії протягом 127–151 рр. н. е. проводив спостереження і працював над «Альмагестом» Клавдій Птолемей (бл. 87–165).

«Альмагест» Птолемея став відмітною віхою на шляху пізнання законів світобудови; усі геометричні конструкції його автора – це триумф людського розуму, який, зокрема, не знаючи справжніх відстаней до планет, зумів змоделювати їхні рухи системою деферент – епіцикл, так що добирати необхідно було лише відношення радіусів цих двох кіл. Варто згадати, що конкретно для Сонця відстань применшено у 20 разів.

Повторимось: усі ці обчислення положень світил на небі, виходячи з досить складних геометричних міркувань, проводилися вже в ті часи, коли інші науки про світ перебували в ембріональному стані.

І все ж триумф геоцентричної моделі Птолемея не міг бути повним, оскільки людський розум залишався невтаємниченим як щодо особливостей справжніх, а не позірних рухів світил, так і щодо причин цих рухів. Не випадково, отже, ж згодом на зміну теорії Птолемея прийшла теорія Коперника...

Розділ 6. АСТРОНОМІЯ ЕПОХИ ЕЛЛІНІЗМУ

Як зауважив А. Паннекук, «сила елліністичної культури полягає в тому, що східні і грецькі елементи злилися в ній у єдине ціле. Особливо на прикладі астрономії ми бачимо, як вавилонський

еллінізм і знання фактів об'єдналися з грецькою незалежністю мислення і теоретичною силою абстракції. Знайомство з вавилонськими методами спостережень, а, можливо, також і з їхніми інструментами спонукало грецьких учених стати спостерігачами. Вавилонські результати для періодів і нерівностей, які до цієї пори були просто числовими даними, в руках греків стали основою для геометричних побудов і привели до концепцій просторової картини світу. Вавілоняни, навпаки, зазнали впливу грецької теорії...»

Час зберіг імена і, принаймні частково, праці декількох астрономів цього періоду. Це – Аристарх, Аристілл, Тимохарис, Ератосфен, Архімед і Гіппарх. Аристарх та Ератосфен здійснили перші вимірювання розмірів і відстаней, Гіппарха заслужено вважають фундатором астрономії.

§ 1. ПЕРШІ ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ І ВІДСТАНЕЙ ДО МІСЯЦЯ І СОНЦЯ

Зусилля Аристарха. Аристарх Самоський був першим, хто поставив перед собою мету: виміряти відстані до небесних світил. Звичайно, і в працях інших авторів вже є певні числові дані. Наприклад, згадуваний вище Філолай твердив, нібито відстані небесних тіл від центрального вогню зростають в геометричній прогресії, так що кожне наступне світило розташоване втричі далі від нього, ніж попереднє. «Подали» конкретні числові дані щодо відстаней планет від Землі і Піфагор, і Платон. Однак всі ці числа були надумані і нічим не обґрунтовані (хоча в твердженні Філолая можна вбачати вдалий здогад: коли б він сказав не «втричі», а «вдвічі», то тим самим на 2000 років раніше відкрив би «правило Тіціуса – Бодє»). Результати Аристарха викладені в його праці (єдиній, що дійшла до нас) «Про величини і відстані Сонця і Місяця».

Аристарх передовсім формулює такі три вихідні положення: 1) Місяць запозичує світло від Сонця; 2) Земля стосовно до місячної сфери є точкою і центром; 3) коли Місяць виглядає для нас розтягтим пополам, то велике коло, що розділяє темну і світлу частини Місяця, лежить у площині, яка проходить через наше око, 4) коли Місяць здається нам розтягтим пополам, то його віддалення від Сонця менше четвертини кола без тридцятої частини цієї чверті; 5) ширина земної тіні вміщає два Місяці і 6) Місяць стягує 15-ту частину знака Зодіаку».

Тут перші три твердження не потребують жодних пояснень. Що ж стосується четвертого, то воно означає таке: тридцята частина чверті кола – це $3^\circ (= 90^\circ : 30)$. Очевидно, на підставі власних

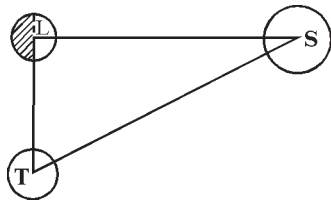


Рис. 2. 1. «Трикутник Аристарха».

спостережень Аристарх дійшов висновку, що кутова відстань від Сонця до Місяця, коли він перебуває у першій чверті, становить 87° . У цей момент у системі Земля – Місяць – Сонце (рис. 2.1) кут SLT є прямим (для спостерігача, який перебував би на Місяці, кутова відстань Землі від Сонця – 90°), а кут LST дорівнює $3^\circ (= 90^\circ - 87^\circ)$.

Аристарх продовжує: «Звідси можна вивести, що відстань від Землі до Сонця перевищує відстань до Місяця більше, ніж у вісімнадцять, але менше, ніж у двадцять разів – на підставі припущення про Місяць, розтягтий пополам; що таке ж відношення має діаметр Сонця до діаметра Місяця, що діаметр Сонця до діаметра Землі має відношення більше, ніж 19 до 3, але менше, ніж 43 до 6 – на підставі відношення, знайденого для відстаней, припущення щодо тіні, а також твердження, що Місяць стягує п'ятнадцяту частину Зодіаку».

Сьогодні цю «задачу Аристарха» розв'язуємо елементарно: з трикутника TLS необхідно знайти відношення сторін $TL : TS$. Очевидно, що

$$\frac{TL}{TS} = \sin 3^\circ = 0,0523 = \frac{1}{19,1}$$

Інакше: якщо справді у першій чверті Місяць перебуває на кутовій відстані 87° від Сонця, то відстань до нього становила б $1/19$ відстані до Сонця.

Однак в часи Аристарха тригонометрія лише зароджувалася. І він отримав згаданий тут результат шляхом ось таких геометричних міркувань.

«Хай (рис. 2. 2) A буде центр Сонця, а B – центр Землі; продовжимо з'єднувальну AB . Після цього нехай C буде центром Місяця, розділеного пополам; через AB і C проведемо площину; хай вона у перетині зі сферою, якою рухається центр Сонця, утворює велике коло ADE ; проведемо з'єднувальні прямі AC , CB і продовжимо BC до точки D . Тоді, оскільки C є центром Місяця, розділеного пополам,

кут ACB буде прямим. З B під прямим кутом до BA проведемо пряму BE . Тоді дуга ED буде тридцятою частиною дуги EDA ... таким чином, кут EBC буде тридцятою частиною прямого. Доповнимо паралелограм AE і проведемо BF ; тоді кут FBE буде половиною прямого. Поділимо кут FBE прямою BG пополам; кут GBE буде четвертою частиною прямого. Але кут DBE становить тридцяту частину прямого; отже, відношення кута GBE до кута DBE буде таким самим, як у 15 до 2, бо яких частин у прямому куті міститься 60, таких у куті GBE буде 15, а в куті DBE – 2. А оскільки GE до EH знаходиться у більшому відношенні, ніж у кута GBE до кута DBE , то відповідно GE має до EH відношення більше, ніж у 15 до 2. А оскільки BE дорівнює EF і кут при E прямий, то квадрат на FB буде дорівнювати подвоєному квадратові на BE , але ж квадрат на FB відноситься до квадрата на BE , так буде відноситися і квадрат на FG до квадрата GE ; отже, квадрат на FG буде вдвоє більший від квадрата на GE ...»

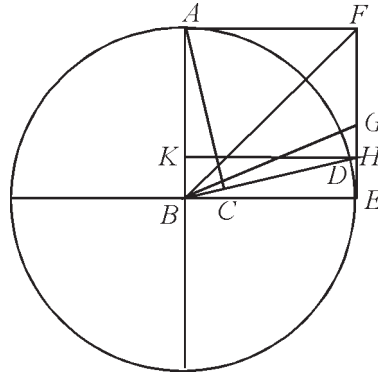


Рис. 2. 2. Допоміжні лінії до «трикутника Аристарха», за допомогою яких Аристарх визначив відносні відстані Місяця і Сонця від Землі без знання тригонометрії.

Тут, як бачимо, використано теорему Піфагора для діагоналі квадрата $BF^2 = 2BE^2$, а також теорему про бісектрису: бісектриса будь-якого кута трикутника ділить протилежну сторону на відрізки, пропорційні прилеглим сторонам, тобто $FG : GE = BF : BE$. Звідси і випливає, що $FG^2 = 2GE^2$ або $FG \leq \sqrt{2} GE$, оскільки точнішого значення $\sqrt{2}$ тоді ще не знали. Саме таким шляхом Аристарх і знайшов, що $EF/EC > 12/5$, а оскільки також $EG/EH > 15/2$, то звідси випливає, що $EF > 12/5 \cdot 15/2 EH = 18/1 EH$.

Далі Аристарх пише: «Але FE дорівнює BE ; отже, BE буде більш ніж у 18 разів більшою від EH ; значить тим паче BH більше, ніж у 18 разів перевищуватиме HE . Але як BH до HE , так внаслідок подібності трикутників буде і AB до BC , отже, AB більш ніж у 18 разів більша BC . Але AB є відстань, на яку Сонце віддалене від Землі,

а CB – відстань, на яку Місяць віддалений від Землі; таким чином, відстань Сонця від Землі більш ніж у 18 разів більша відстані Місяця від Землі».

Шляхом аналогічних, дещо складніших міркувань Аристарх доходить висновку, що це відношення відстаней, менше від 20 і далі, що «діаметр Сонця більш ніж у 18 разів і менш ніж у 20 разів більший від діаметра Місяця», що «діаметр Місяця менший двох сорок п'ятих, але більший однієї тридцятої частини відстані, на яку центр Місяця віддалений від нашого ока», і що «діаметр Сонця до діаметра Землі має відношення більше, ніж у 19 до 3, але менше, ніж у 43 до 6».

Отже, якщо позначити через R_{\oplus} радіус Землі, то з обчислень Аристарха випливало, що

- 1) радіус Сонця $R_{\odot} \approx 7 R_{\oplus}$,
- 2) радіус Місяця $R_{\text{C}} \approx \frac{1}{19} R_{\oplus}$,
- 3) відстань від Землі до Місяця $r_{\text{C}} \approx 19 R_{\oplus}$ і
- 4) відстань від Землі до Сонця $r_{\odot} \approx 19 r_{\text{C}} \approx 361 R_{\oplus}$.

На підставі своїх обчислень Аристарх виснував, що «Сонце має до Землі відношення більше, ніж у 6859 до 27, але менше, ніж у 79507 до 216». Мова тут – про порівняння об'ємів Сонця і Землі: об'єм Сонця приблизно в 300 разів мав би перевищувати об'єм Землі. Очевидно, саме ці обрахунки привели згодом Аристарха до висновку, що Сонце, як більше тіло розташоване у центрі світу і що це Земля, разом з іншими планетами, обертається навколо нього...

ДЖЕРЕЛА ПОМИЛОК. Результат Аристарха щодо розмірів Місяця і відстані до нього, оскільки це – перший такого типу, можна б прийняти без серйозних застережень (розміри Місяця перевищені на $\frac{1}{3}$, відстань до нього применшена в 3 рази). Однак розміри Сонця він применшив у 15,7 раза, а відстань до нього – в 65 разів. І це число ($r_{\odot} \approx 19 r_{\text{C}}$) приймалося астрономами упродовж 1800 років (див. с. 170)!

Неточність результату Аристарха ось у чому. По-перше, кутова відстань Місяця від Сонця у момент першої чверті менша 90° не на 3° , а всього на $9'$. Тому й Сонце знаходиться від Землі не в 19, а в 400 разів далі. Варто, однак, зазначити, що встановити момент, коли ми бачимо освітленою рівно половину Місяця, взагалі дуже важко і тепер.

По-друге, з невідомих причин Аристарх прийняв, нібито кутовий діаметр Місяця (і Сонця) дорівнює 2° (саме такою є $\frac{1}{15}$ частини знака

Зодіаку, про що він говорить у 6-й умові). Насправді ж діаметр Місяця у чотири рази менший. Не зовсім зрозуміло, чому Аристарх у цій явно ранній праці взяв таке значення. Бо ж у той час астрономи вже вміли визначати видимий діаметр Сонця. Зокрема, вавилонські жерці робили це в дуже простий спосіб. За допомогою водяного годинника (клепсидри) вони вимірювали проміжок часу, що минає від моменту, в який нижній край диска Сонця дотикається горизонту, до моменту, коли за горизонт ховається його верхній край. Очевидно, що кутовий діаметр Сонця буде рівним тій частині від 360° , яку від 24 годин, протягом яких небосхил робить повний оберт, складає вимірний проміжок часу. Вавилонські астрономи встановили, що захід Сонця триває 2 хвилини, тобто $1/720$ частину доби. Отже, і видимий кутовий діаметр Сонця становить $360^\circ/720 = 1/2^\circ$. Є відомості, що про це Аристарх знав, однак невідомо, чи провів він на цій підставі переобчислення відстані до Місяця.

РАДІУС ЗЕМЛІ ЗА ЕРАТОСФЕНОМ. Від часів Аристарха і до сьогодні природною одиницею вимірювання відстаней в Сонячній системі є радіус Землі R_\oplus . І, як вже згадувалося (1.5, § 4), Аристотель вказав його величину з похибкою від 50% до 85% (перевищивши справжнє значення). Напевне, на той час це був цілком задовільний результат, беручи до уваги слабку розвинутість кутомірних пристроїв.

Сама ж по собі задача про встановлення радіуса Землі є нескладною з геометричної точки зору. Справді, нехай спостерігач перебував спочатку в пункті A і виявив, що певна зоря проходить тут через зеніт. Нехай далі спостерігач пересувається строго на північ (уздовж меридіана). Пройшовши відстань d , він зауважить, що те саме світило вже проходить через меридіан на кутовій відстані z від зеніту. Напрошується висновок, що якби спостерігач зробив кругосвітню мандрівку, пройшовши шлях $S = 2\pi R_\oplus$, тобто описав відносно центра Землі дугу 360° , і повернувся знову до точки A , то картина проходження згаданої зорі через зеніт відновилася б. Отже довжина земного кола S у стільки разів більша від величини d , у скільки повний кут 360° більший кута z . Звідси

$$S = \frac{360^\circ}{z} d \text{ і } R_\oplus = \frac{360^\circ}{2\pi z} d$$

Якраз Ератосфен і визначив точніше розміри Землі. Він виявив, що опівдні найдовшого дня літа, коли Сонце на небі перебуває

у найвищому положенні і його промені в м. Сієні (тепер Асуан) падають вертикально, освітлюючи дно найглибших колодязів, в Александрії в цей самий час зенітна відстань Сонця становить $\frac{1}{50}$ повного кола (тобто $7^{\circ}12'$). Відстань між Сієною та Александрією оцінювали у 5000 єгипетських стадіїв. На підставі наведених вище міркувань Ератосфен обчислив, що довжина кола меридіана становить 250 000 стадіїв. Якщо стадій відповідав 157,5 м, то це складало б 39 500 км, а радіус Землі мав би дорівнювати 6290 км. Таким чином, похибка була б рівною усього 1,3%.

Для вимірювання зенітної відстані Сонця Ератосфен встановив на міській площі в Александрії спеціальний кутомірний прилад – *скафіс*. Принцип роботи цього приладу дуже простий. У центрі чаші, яка мала форму півкулі, вертикально закріплювали шпичак. На внутрішній поверхні чаші, куди падала тінь від шпичака, були нанесені горизонтальні кола, що відповідали певним висотам Сонця над горизонтом.

Чи ж справді точність виміру Ератосфена була так високою? Деякі історики астрономії схильні вважати, що тут зіграв свою роль щасливий збіг обставин, відбулася «взаємна компенсація помилок». Бо ж Александрія і Сієна не лежать на одному меридіані, відстань між цими містами більша 5000 стадіїв (якщо їх рахувати по 157,5 м), та й сама зенітна відстань Сонця опівдні у день літнього сонцестояння в Александрії дещо відрізняється від $\frac{1}{50}$ повного кута.

Мабуть, ми все таки схильні іноді переоцінювати (що зовсім непотрібне) можливості давніх учених. Справжня відстань між Александрією та Асуаном, якщо її міряти лінійкою «поперек», становить близько 840 км. Реально ж зв'язок між цими пунктами відбувався вздовж берегів Нілу, так що весь шлях не міг бути коротшим 950 км. Якщо ж прийняти, що стадій мав 157,5 м, то це становитиме 6000 стадіїв. Відомо, що тоді довжину шляху вимірювали часом, за який його долали каравани верблюдів або вершники. Малоймовірно, що в цьому випадку було допущено таку велику помилку у підрахунку стадіїв. Проте все стає на своє місце, якщо довжину стадія приймали рівною 185 м, бо тоді справді відстань між цими містами була б 5140 стадіїв. А якщо це так, то точність вимірів Ератосфена була дещо нижчою.

Звичайно, головним тут є інше: логічний, науковий підхід до питання про розміри планети, на якій ми живемо.

Варте уваги, що за допомогою згаданого скафіса Ератосфен визначив також кут нахилу площини екліптики до екватора: $\epsilon = 23^{\circ}51'$. Цей висновок зроблено на тій підставі, що різниця між висотами Сонця в меридіані під час літнього і зимового сонцестоянь (тобто кут 2ϵ) рівна $1\frac{1}{83}$ повного кола, тобто $47^{\circ}42'$. Звідси і випливало вказане значення ϵ .

§ 2. ГЕО-ГЕЛІОЦЕНТРИЧНА СИСТЕМА АРХІМЕДА

РЕКОНСТРУКЦІЯ МОДЕЛІ. Архімед, якого римський історик Тіт Лівій (59 до н. е. – 17 н. е.) назвав «єдиним і своєрідним спостерігачем неба і зір», народився в Сиракузах на острові Сицилія. Учився він в Александрії. Як він сам згадує у творі «Псамміт», в Александрії він познайомився з астрономами Кононом та Ератосфеном.

До останнього часу маловідомим залишався той факт, що Архімед створив систему світу, вказуючи конкретні відстані до планет. Відомості про цю систему світу (точніше, про розміри орбіт планет, за якими можна зробити певні висновки про саму систему) є в творі римського єпископа Іпполіта (перша половина III ст. н. е.), а дещо стисліше – в коментарях римського письменника V ст. Макробія. Іпполіт у «Відкиданні всіх єресей» пише так: «Відстань від поверхні Землі до місячної орбіти сам... Аристарх оцінює у своєму творі в... стадіїв. Архімед же – в 554 міриади 4130 одиниць стадіїв, від місячної до сонячної орбіти стадіїв 5026 міриад 2065 одиниць, від неї до орбіти Венери стадіїв 2027 міриад 2065 одиниць, від неї до орбіти Меркурія стадіїв 5081 міриада 7165 одиниць, від неї до орбіти Марса стадіїв 4054 міриад 1108 одиниць, від неї до орбіти Юпітера стадіїв 2027 міриад 5065 одиниць, від неї до орбіти Сатурна стадіїв 4037 міриад 2065 одиниць, від неї ж до Зодіаку і найостаннішого кола стадіїв 2008 міриад 4005 одиниць. Такі передані Архімедом відстані орбіт одна від одної і глибини сфер. Периметр же Зодіаку він приймав стадіїв 4 других числа 4731 міриада. Таким чином, виявляється, що відстань від центра Землі до найбільш крайньої поверхні буде шостою частиною згаданого числа. Відстань же від поверхні Землі, на якій ви живемо, до Зодіаку отримується, якщо шосту частину згаданого числа зменшити на 4 міриади стадіїв, що є відстанню від

центра Землі до її поверхні. Від орбіти Сатурна до Землі, як він каже, буде других чисел одна одиниця 2160 міриад 8259 одиниць, від Меркурія до Землі 5268 міриад 3259 одиниць, від Венери до Землі 5081 міриада 5160 одиниць... так ось відстані і глибини сфер Архімед дає такими».

Тут міриада – 10 000, «другими числами» Архімед назвав десятки тисяч міриад.

Далі Іпполіт пише про те, що викладені Архімедом числа не перебувають у співзвучних відношеннях, «тобто у так званих платонівських подвійних і потрійних», а тому, мовляв, вони не можуть зберегти гармонійну будову всесвіту».

Макробій про це ж пише скупіше: «Також і Архімед вважав, що він визначив число стадіїв, на яке від поверхні Землі віддалений Місяць, від Місяця – Меркурій, від Меркурія – Венера, від Венери – Сонце,.. всю ж відстань від Сатурна до самого зореносного неба він, як думав, виміряв лише розмірковуванням. Однак цей архімедів вимір відкинутий платоніками як такий, що не зберігає подвійних і потрійних інтервалів».

Оскільки йдеться про протиставлення дій: «визначив» та «виміряв розмірковуванням», то можна здогадуватися, що відстані до планет Архімед обчислив на підставі спостережень. Вказана ж у тексті Іпполіта операція отримання «шостої частини числа» означає ділення довжини кола на 2π , щоб отримати радіус сфери зір (точнішого значення числа π , ніж $\pi = 3$, тоді ще не знали). Варте уваги, що від Архімеда до Іпполіта проминуло понад 400 років, а, отже, деякі числові дані можуть бути спотворені переписувачами.

РЕКОНСТРУКЦІЯ МОДЕЛІ. Нещодавно С. В. Житомирський (1977, 1983) здійснив реконструкцію числових даних Архімеда. І – виявилося, що йдеться про гео-геліоцентричну модель світу, в якій Меркурій, Венера і Марс обертаються навколо Сонця, яке разом з ними, а також Юпітер і Сатурн, рухаються навколо Землі (рис. 2. 3). І, що дуже цікаве, відносні радіуси орбіт Меркурія, Венери і Марса досить близькі до їх справжнього значення!

Необхідність реконструкції видно ось з чого. Спочатку Іпполіт вказує числа «до орбіти», скажімо, Венери. І тут же подаються окремо відстані «від Меркурія до Землі» і «від Венери до Землі», причому, як легко переконатися, вони не збігаються з попередніми.

Тим часом у геоцентричній системі відстань до Меркурія (а також до Венери і Марса) просто дорівнює радіусові орбіти планети.

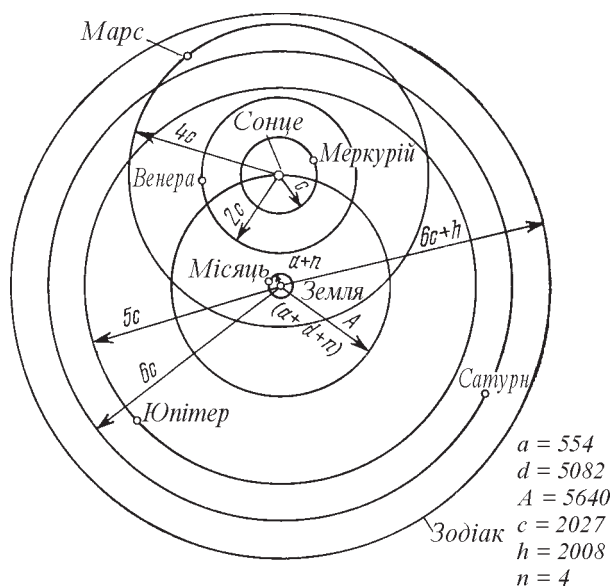


Рис. 2. 3. Гео-геліоцентрична модель Архімеда.

Реконструйовані відстані є такими: від поверхні Землі до Місяця $a = 554$ мр (для скорочення міриади стадіїв позначено літерами «мр», числа одиниць стадіїв заокруглено), від місячної до сонячної орбіти $d = 5032$ мр, тому відстань від центра Землі до Сонця $A = a + d + n = 5640$ мр ($n = 4$ мр – радіус Землі). Далі від Сонця до орбіти Меркурія $c = 2027$ мр, від неї до орбіти Венери також c , від орбіти Венери до орбіти Марса $2c$, далі радіус орбіти Юпітера (орієнтовно) $5c$ і Сатурна $6c = 12\ 162$ мр – число, що його вказує Іпполіт. Від орбіти Сатурна до зодіаку $h = 2008$ мр і для погодження з вказаним в Іпполіта числом «периметра Зодіаку» слід читати «півпериметр». У цьому один з можливих доказів правильності реконструкції.

Далі неважко переконатися в тому, що імовірна відстань від центра Землі до Сонця (A), відстань «від Меркурія до Землі» (число $l = 5269$ мр) і число c – відстань від Сонця до Меркурія з високою точністю підлягають теоремі Піфагора: $\sqrt{5640^2 - 2027^2} = 5264!$

А відношення $l/A = 5268/5640 = 0,934$ – це косинус кута α , що відповідає середній найбільшій елонгації Меркурія: $\arccos 0,934 = 21^\circ 02'$. Стає зрозумілим, чому це число взагалі фігурує в тексті: воно вказує середнє значення елонгації планети.

Аналогічно, очевидно, був визначений і радіус орбіти Венери. У випадку ж Марса необхідно зафіксувати число днів N , що минають від його протистояння до квадратури. Знаючи синодичний період обертання планети $S = 780$ діб і покладаючи, що планета рухається по коловій орбіті рівномірно, отримують кут $\beta = \frac{360^\circ}{S} \cdot N$, так що

$$R = \frac{A}{\cos \beta}.$$

Цікаво, що відносні відстані від Сонця до Меркурія, Венери і Марса c/A , $2c/A$, $4c/A$, рівні відповідно 0,36, 0,73 і 1,44, досить близькі до їхніх справжніх значень 0,39, 0,72 і 1,52. В абсолютних же одиницях при довжині стадія 177,5 м в моделі Архімеда є таке: відстань від центра Землі до Місяця дорівнює 990 450 км – майже в 2,6 раза більша, а від Землі до Сонця – 10 011 000 км, що в 15 разів менше від справжньої. Радіус сфери зір усього в 2,5 раза більший за відстань від Землі до Сонця.

У «Псамміті» Архімед повідомляє, що він виміряв видимий кутовий діаметр Сонця, який є в межах від $1/164$ до $1/200$ частини прямого кута. Приймавши середнє значення $1/180$ прямого кута, або $30'$, неважко знайти, при відомих вже відстанях до Сонця і Місяця (кутовий діаметр якого такий же), їхні лінійні розміри: діаметр Сонця 49,2 мр, Місяця 4,8 мр, тобто Місяць нібито в 10,2 раза менший за Сонце.

Як бачимо, Архімед був не лише добрим спостерігачем, а й глибоким мислителем. Доводиться жалкувати за тим, що його астрономічні твори практично не дійшли до нас.

«НЕБЕСНИЙ ГЛОБУС» АРХІМЕДА. Упродовж декількох століть після смерті Архімед залишався відомим і як творець «небесного глобуса», за допомогою якого можна було продемонструвати умови видимості світил, затемнення Сонця і Місяця. Ось що писав про це Цицерон у трактаті «Про державу»: «...суцільна сфера без порожнин була винайдена давно, і таку сферу вперше виточив Фалес Мілетський, а згодом Евдокс Кнідський, за словами, – учень Платона, нарисовав на ній положення сузір'їв і зір, розташованих на небі... Через багато років Арат, керуючись не знанням астрономії, а, так би мовити,

поетичним даром, оспівав у віршах всю будову сфери і положення світил на ній, взяті в Евдокса. Але... така сфера, на якій були б представлені рухи Сонця, Місяця і п'яти зір, що їх звать мандрівними і блукаючими, не могла бути створена у вигляді суцільного тіла. Винахід Архімеда подиву гідний саме тим, що він придумав, яким чином при несхожих рухах, під час одного оберту зберегти неоднакові і різні шляхи. Коли Галл приводив цю сферу в рух, відбувалося так, що на цій кулі з бронзи Місяць змінював Сонце протягом стількох же обертів, за скільки днів він змінював його на самому небі, внаслідок чого і на небі сфери відбувалося таке ж затемнення Сонця, і Місяць вступав у ту ж межу, де була тінь Землі...» (Цицерон. Диалоги. – М. Наука, 1966, – С.14).

Дальша частина тексту втрачена. Як вже згадано, в системі світу Архімеда планети (принаймні Меркурій, Венера і Марс) оберталися навколо Сонця. Тому моделювання петлеподібних видимих рухів нижніх планет (Меркурія і Венери) дається легко. А ось те, як Архімеду вдавалося зображати (якщо це взагалі досягалось) петлеподібний рух верхніх планет, доводиться лише здогадуватися.

Про модель Архімеда Цицерон ще раз згадує в трактаті «Про природу богів» і в «Тускуланських бесідах». З тексту випливає, що після Архімеда такий же небесний глобус сконструював і Посідоній: «Якби хто-небудь привіз у Скифію чи Британію ту кулю, що її недавно сконструював наш друг Посідоній, кулю, окремі оберти якої відтворюють те, що відбувається на небі з Сонцем, Місяцем і п'ятьма планетами в різні дні і ночі, то хто в цих варварських країнах засумнівався б, що ця куля – витвір досконалого розуму?»

Вдивляючись у це чудо техніки, глядач неминуче ставив собі і даліші запитання, як це видно з «Першої книги проти фізиків» представника античного скептицизму Секста Емпірика (II–III ст. н. е.): «Коли ми дивимося на Архімедову сферу, ми дуже дивуємось, бачучи, як рухаються Сонце, Місяць та інші зорі. Звичайно, нас вражає не матеріал і не рух частин механізму, але його творець і спонукуючі причини... Згідно ж з найвищою точкою зору, найбільш дивовижною... є природа Сонця, Місяця і зір, і, передовсім, самого світу, яка і є причиною усього цього».

§ 3. ГІППАРХ – ФУНДАТОР АСТРОНОМІЇ

Сьогодні всі однакові в тому, що саме завдяки працям давньогрецького вченого Гіппарха (бл. 135–125 до н. е.) астрономія почала оформлятися в точну науку. Гіппарх перший розпочав систематичні астрономічні спостереження та їхній всебічний математичний аналіз. Він заклав основи сферичної астрономії і тригонометрії, розробив теорію руху Сонця і Місяця, методи передбачування затемнень, причому – з точністю до одної-двох годин.

Про життя Гіппарха відомо дуже мало. Народився він у Нікеї (тепер м. Ізник у Туреччині), певний час перебував в Александрії, а працював на острові Родос, де побудував астрономічну обсерваторію.

Відкриття прецесії. Передовсім Гіппарх встановив, що необхідно відрізнити *зоряний рік* як проміжок часу між двома послідовними проходженнями Сонця поблизу певної зорі і *тропічний рік* – проміжок часу від одного весняного рівнодення до наступного. Порівнюючи момент літнього сонцестояння, яке спостерігалось Аристархом 280 р. до н. е., зі своїми спостереженнями 135 р. до н. е., Гіппарх зробив висновок, що тривалість тропічного року дорівнює $365\frac{1}{4} - \frac{1}{300}$ доби або $365^d 5^h 55^m 16^s$, тобто що він коротший від зоряного на 20 хв. Це якраз пояснюється *прецесією* – пересуванням точки весняного рівнодення назустріч Сонцю.

Природно, можуть виникнути сумніви, чи можна взагалі встановити пересування «незримої», уявної точки перетину екліптики з небесним екватором на дуже малу величину у ті далекі часи. Однак задача виявляється не так вже й складною. Досить лише взяти до уваги два факти. По-перше, кутову відстань Сонця від точки весняного рівнодення (довготу Сонця) можна встановити, вимірюючи його висоту над горизонтом у момент верхньої кульмінації, за якою саму довготу знаходять після простих обчислень або з наперед складених таблиць. По-друге, в середині місячного затемнення, коли Місяць перебуває на небесній сфері точно напроти Сонця, його довгота від точки весняного рівнодення на 180° більша за довготу Сонця. А що в моменти місячних затемнень поруч із диском Місяця трапляються яскраві зорі, то досить виміряти їхні кутові відстані від Місяця у цей час, щоб у такий спосіб знайти і екліптичні довготи цих зір.

Саме так за 169 років до спостережень Гіппарха астрономи Аристілл і Тимохаріс зафіксували положення 18 зір на небі. Спостерігаючи «своє» затемнення Місяця, Гіппарх виявив, що в його час зоря Спіка випереджувала осіннє рівнодення на 6° , тоді як за часів Тимохаріса – на 8° . Інакше кажучи, пересуваючись назустріч Сонцю, точка осіннього (як і весняного) рівнодення за 169 років змістилася у напрямку зорі Спіки на 2° , тобто на чотири діаметри Місяця. Виміри ці було проведено з невисокою точністю, бо ж вказано лише градуси. І все ж Гіппарх оцінив, що в середньому за рік це становить $43'' (= 2^\circ : 169)$.

Як знаємо, насправді річна прецесія становить $50,26''$. Завдяки їй Спіка в наш час є вже далеко позаду точки осіннього рівнодення, яка пересувається вперед на 1° за кожні 72 роки.

ТЕОРІЯ РУХУ СОНЦЯ. Вже задовго до Гіппарха як вавилонські, так і грецькі астрономи (серед них – Калліп, IV ст. до н. е.) виявили, що пори року мають різну тривалість. Зокрема, за даними Калліпа, весна триває 94 доби, літо 92 (усього – 186 діб), осінь – 89 і зима – 90 (разом 179). Звідси випливало, що рух Сонця по екліптиці не є рівномірним. Гіппарх отримав точніші значення: весна (відлічена від переходу Сонця через точку весняного рівнодення до літнього сонцестояння) триває $94\frac{1}{2}$ доби, літо – $92\frac{1}{2}$ доби, що в сумі становить 187 діб, тоді як між осіннім і весняним рівноденнями залишається $178\frac{1}{4}$ доби (справжні значення тривалості чотирьох сезонів року – 94,1, 92,2, 88,6 і 90,4 доби). А це значить, що весною Сонце на небесній сфері рухається повільніше, ніж в будь-яку іншу пору року, тоді як восени найшвидше.

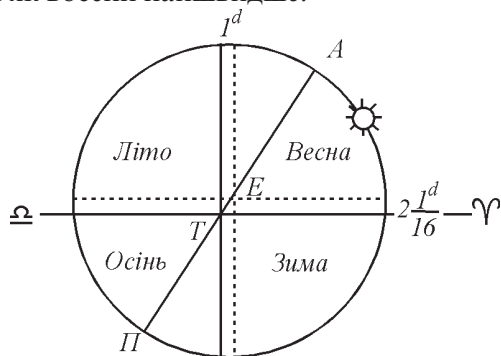


Рис. 2. 4. Неоднаковість тривалості пір року, як вона була встановлена Гіппархом, і знайдений ним напрям лінії апсид.

Сказане зображають графічно (рис. 2. 4). Можна говорити, що Сонце рухається рівномірно по колу з центром в E , тоді як Земля зсунута в квадрант «осінь». Відносно точки T таке коло буде **ексцентром**, поняття про який ввів ще до Гіппарха Аполлоній Пергський (бл. 262 – бл. 200 до н. е.). Довготи ж відлічують по колу, центр якого збігаються з T . Найближчу до землі точку Π орбіти Сонця (в геоцентричній моделі – будь-якої планети) названо **перигесм**, найбільш віддалену (A) – **апогесм** (гр. περι – біля, $\alpha\lambda\omicron$ – від), лінію $A\Pi$ – **лінією апсид** (гр. $\alpha\psi\iota\varsigma$ – вершина). І, нарешті, відношення $TE/EA = \epsilon$ є **ексцентриситетом** ексцентра, тоді як кут $\sphericalangle TA$ (він позначається також Π) – **довготою апогею**.

Виходячи з тривалості сезонів, Гіппарх визначив основні параметри ексцентра Сонця – ексцентриситет $\epsilon = 1/24$ і довготу апогею $\Pi = 65^\circ 30'$. Після цього він зміг скласти таблицю, за якою можна було встановити положення Сонця на небі на кожен день.

Гіппарх проаналізував і іншу можливість пояснення нерівномірного річного руху Сонця по екліптиці – комбінацією **епіцикла** (гр. $\epsilon\pi\iota$ – на і $\kappa\upsilon\kappa\lambda\omicron\varsigma$ – коло) і **деферента** (лат. *deferens* – той, що несе). Її суть стає зрозумілою, якщо розглянути таку «механічну модель»: обертання паралелограма навколо одної з його сторін.

Покладемо, що сторони паралелограма $TNPO$ (рис. 2.5) є стрижнями, з'єднаними шарнірно, так що кожна зі сторін може повертатися відносно сусідньої. Закріпимо тепер сторону TO нерухомо на площині і, узявшись за вершину N , повертаємо паралелограм навколо точки T (не підіймаючи його над площиною рисунка!). Очевидно, що при такому повертанні протилежні сторони паралелограма залишаються взаємно паралельними, точка P описує коло відносно вершини O , точка N – відносно T , а, крім того, точка P описує коло відносно N . При цьому, якщо паралелограм як єдине

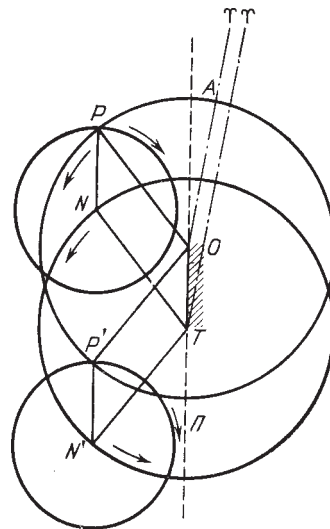


Рис. 2. 5. До пояснення тотожності систем «ексцентр» та «епіцикл – деферент» (при $\vec{\sigma} = -\vec{\omega}$)

ціле повертається проти годинникової стрілки, то точка P описує коло відносно точки N , рухаючись у протилежному напрямі, тобто за годинниковою стрілкою, і за один оберт паралелограма здійснить один оберт навколо N .

Коло, що його точка N описує навколо T , і прийнято називати *деферентом*; коло, що його описує точка P в її відносному русі навколо N , зветься *епіциклом*; коло, яке описує точка P навколо O , як ми вже знаємо, зветься *ексцентром*. Тут точка T грає роль центра світу, точка P зображає справжнє Сонце (в інших випадках – будь-яку планету), точка N – «середнє сонце» («середню планету»). Як згадувалося, за уявленнями давньогрецьких філософів коловий рух обов'язково повинен бути рівномірним, тобто усі згадані точки рухаються зі сталою кутовою швидкістю $\vec{\sigma}$.

З рис. 2.5 випливає такий висновок: «Якщо середня планета N обертається навколо центра світу в прямому напрямку (проти годинникової стрілки) зі сталою кутовою швидкістю, а планета P обертається водночас з тою ж кутовою швидкістю у зворотному напрямку, то рух планети P відносно центра T буде таким же, як би вона оберталася з тою ж швидкістю і в прямому напрямку по ексцентру, радіус якого дорівнює радіусу деферента, а центр O зміщений від центра T на відрізок OT , рівний радіусу епіцикла NP ». Це – так звана теорема Аполлонія Пергського. Вона була відома Гіппархові, який вибрав для пояснення руху Сонця (і Місяця) гіпотезу ексцентра, «оскільки вона досягає мети за допомогою лише одного руху». Однак розробка системи деферент – епіцикл дозволила згодом Птолемеєві зобразити за допомогою комбінацій цих кіл усі складності в русі планет.

Як згадано, Гіппарх визначив ексцентриситет ексцентра Сонця ϵ як відношення $\epsilon = OT/OA = PN/NT$, тобто його можна розглядати як відношення радіуса епіцикла до радіуса деферента. Згаданий вище річний нерівномірний рух Сонця по екліптиці (та аналогічний рух Місяця і планет) давні астрономи назвали «*першою нерівністю*». Як бачимо, його цілком можна моделювати одним з двох згаданих тут способів.

Рух Місяця. Гіппарх значно точніше, ніж його попередники, встановив тривалість синодичного Місяця, як також дослідив особливості руху Місяця відносно зір.

До цього, як згадувалося, в 432 р. до н. е. Метон виявив, що 19 тропічних років рівні 235 синодичним місяцям і це дорівнює 6940 добам. Звідси тривалість року є $6940/19 = 365^d 6^h 19^m$, а тривалість синодичного місяця $6940/235 = 29^d 12^h 46^m$ – на 2^m більше справжнього значення.

Згодом Калліп дійшов висновку, що узгодженість знайдених з обчислень календарних одиниць з їх астрономічними прообразами буде кращою, якщо з чотирьох метонових циклів виключити одну добу, прийнявши, що 76 років дорівнює 27 759 діб. Тоді довжина року є $365^{1/4}$ доби, а синодичного місяця – $27\,759/940$ днів = $29^d 12^h 44^m 25^s$, а це всього на 22^s більше за справжнє значення.

Відкривши прецесію і встановивши, що тривалість тропічного року менша 365,25 доби, Гіппарх вніс поправку і в калліпів місячно-сонячний цикл. Він дійшов висновку, що з чотирьох калліпових періодів ($4 \times 76 = 304$ роки) слід виключити одну добу. У цьому проміжку часу, таким чином, повинно нараховуватися $27\,759 \times 4 - 1 = 111\,035$ діб або $940 \times 4 = 3760$ місячних місяців. Звідси і випливає, що

$$1 \text{ сонячний рік} = \frac{111\,035^d}{304} = 365^d 5^h 55^m 16^s,$$

$$1 \text{ синодичний місяць} = \frac{111\,035^d}{3760} = 29^d 12^h 44^m 2,5^s,$$

Так отримано значення синодичного місяця, усього на 0,3 с менше від його сучасного значення.

Далі Гіппарх встановив, що шлях Місяця на небесній сфері нахилений до екліптики під кутом 5° і що Місяць по своїй орбіті, з точки зору земного спостерігача, рухається нерівномірно: упродовж місяця він зміщується вперед або відстає від розрахункового середнього руху дещо більше 6° . Гіппарх прийняв, що, як і Сонце, Місяць рухається по ексцентру, площина якого нахилена до екліптики під кутом 5° і який перетинається з нею у двох точках – *вузлах* (див. § 7 Вступу).

Давні астрономи повернення Місяця до того ж вузла називали «поверненням широти», а повернення до найбільшої швидкості – «поверненням аномалії». На підставі своїх спостережень і спостережень «давніх астрономів» Гіппарх встановив, що $126\,007$ діб + 1 год = 4267 синодичних періодів = 4573 поверненням аномалії = 4612 обертанням (відносно зір) без $7^{1/2}^\circ$, що майже точно дорівнює 345 обертанням Сонця. Крім того, 5458 синодичних періодів дорівнює 5923 поверненням широти. Звідси, крім вже наведеного вище (майже

з тою ж точністю) значення синодичного місяця, впливає і період обертання Місяця відносно зір – $27^{\text{d}}7^{\text{h}}43^{\text{m}}13,1^{\text{s}}$, що усього на $1,7^{\text{s}}$ більше справжнього значення. Оскільки за 4612 обертів Місяць проходить через перигей 4573 рази, тобто на 39 разів менше, то Гіппарх зробив висновок, що перигей повертається в тому ж напрямі, що й Місяць, здійснюючи оберт за 8,85 року.

З наведених тут чисел неважко отримати, що 5458 синодичних періодів відповідають 5899,27 обертанням Місяця відносно зір. Як видно, за ці 161 177,96 доби відбулося на 23,73 повернення до широти більше, ніж повернень до тої ж зорі. Так Гіппарх виявив, що вузли місячної орбіти змішуються назустріч Місяцеві, здійснюючи оберт за 6792 доби (справжнє значення $6798 \approx 18,61$ року).

Отже, за Гіппархом, центр ексцента Місяця описував навколо Землі коло майже за 9 років, площина ж цього ексцента, зберігаючи нахил до екліптики, «відступала назад», забезпечуючи спостережуваний рух вузлів. Це певною мірою описувало рух Місяця, однак насправді цей рух є настільки складним, що за допомогою одного ексцента його зобразити було неможливо.

Відстань і паралакс Місяця. Гіппарх переглянув задачу про встановлення відстані до Місяця і розв'язав її з високою як на той час точністю. Отож йому було відомо, що кутовий радіус Місяця становить $16'$, а радіус земної тіні на відстані Місяця – $40'$ (тобто він у $\frac{8}{3}$ разів більший). Останнє можна встановити, визначаючи тривалість повного місячного затемнення. Адже Місяць пересувається на небі з середньою швидкістю $0,5^\circ$ за годину. Час його цілковитого перебування в тіні Землі дещо менший від двох годин. Звідси випливає, що видимий диск Місяця вкладається у перерізі земної тіні майже три рази.

Як виявляється, така серйозна задача, як встановлення відстані до Місяця, має простий геометричний розв'язок. Нехай на рис. 2. 6 точки S , T і M зображають відповідно центри Сонця, Землі і Місяця, а $FM=R_T$ – це радіус земної тіні на орбіті Місяця. Оскільки рівнобедрені трикутники EFP , CDP та ABP подібні, то для них можна записати таке співвідношення:

$$\frac{DT - FM}{BS - DT} = \frac{TM}{ST}.$$

З того факту, що видимі кутові радіуси Місяця і Сонця рівні, випливає: відстань до Сонця у стільки разів більша, у скільки його радіус R_{\odot} більший від радіуса Місяця R_c . Математично це можна записати у вигляді:

$$\frac{ST}{TM} = \frac{R_{\odot}}{R_c} = x.$$

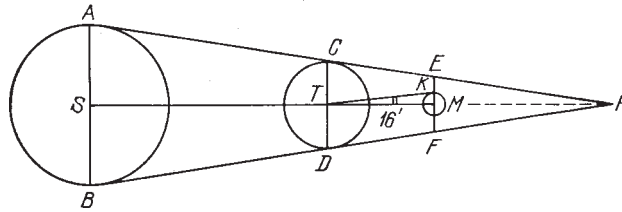


Рис. 2. 6. Подібні трикутники, за допомогою яких Гіппарх визначив відстань від Землі до Місяця.

Користуючись цим співвідношенням, можна перше з них, після нескладних перетворень записати так:

$$R_c + R_T = (1 + 1/x)R_{\oplus}.$$

Як вже зазначалося, радіус земної тіні $R_T = 8/3R_c$. Тому з останнього рівняння випливає, що

$$R_c = 3/11(1 + 1/x)R_{\oplus}.$$

Оскільки величина x значно перевищує одиницю (так, за Аристархом, $x \approx 19$), то другим доданком у дужці можна знехтувати. Таким чином, маємо величину $R_c = 3/11R_{\oplus}$, що практично збігається з сучасними даними про розміри Місяця.

Якщо ж лінійний і видимий кутовий радіуси Місяця відомі, то неважко визначити і саму відстань від Землі до Місяця. Справді, з трикутника TMK маємо

$$\frac{KM}{TM} = \operatorname{tg} 16' \quad \text{і} \quad TM = \frac{R_c}{\operatorname{tg} 16'},$$

а оскільки $\operatorname{tg} 16' = 0,0046$, то $TM = 218 R_c$, або ж $TM = 59,3R_{\oplus}$.

Хоча тригонометричну функцію тангенс було введено лише на початку XVI ст., а сам Гіппарх тільки закладав фундамент тригонометрії, для відстані від Землі до Місяця він одержав те саме значення – $59R_{\oplus}$. Адже при малих кутах а маємо $\operatorname{tg}\alpha \approx \sin\alpha$, а поняття синуса Гіппарху вже було знайоме. Звідси його висновок, сформульований так: «оскільки кутовий радіус Місяця дорівнює $16'$, то відстань до нього приблизно у 220 разів більша за його радіус».

Вважають, що Гіппарх, зайнявшись розробкою методу передбачення затемнень, вперше звернув увагу на необхідність врахування паралактичного зміщення Місяця. Як відомо, *добовим паралаксом* p зветься кут, під яким спостерігач побачив би зі світила радіус Землі. Для Місяця добовий паралакс $p_c = 57'$. Його величину Гіппарх визначив, очевидно, з таких міркувань. В момент, коли при повному місячному затемненні в тінь Землі входить рівно половина диска Місяця (рис. 2. 7), між кутами ρ_{\odot} і ρ_T – кутовими радіусами Сонця і тіні Землі на відстані місячної орбіти та p_{\odot} і p_c – паралаксами Сонця і Місяця є залежність

$$p_{\odot} + p_c = \rho_{\odot} + \rho_T$$

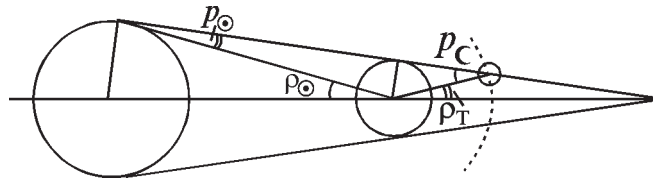


Рис. 2. 7. До визначення Гіппархом горизонтального паралаксу Місяця.

Оскільки паралакс Сонця давньогрецькі астрономи, в тому числі і Гіппарх, з огляду на його мале значення, виміряти не могли, то при $p_{\odot} \approx 0$ місячний паралакс наближено визначається як сума видимих радіусів Сонця і земної тіні. Гіппарх знайшов, що $p_c \approx 1^\circ$. Після цього неважко було визначити відстань до Місяця. Приймаючи $p_c = 1^\circ$, знаходимо

$$r_{\odot} = \frac{R_{\oplus}}{\sin 1^\circ} = \frac{R_{\oplus}}{0,0175} \approx 57R_{\oplus}$$

що практичною збігається з результатом, отриманим раніше.

Видимі величини зір за Гіппархом. Як повідомляє римський письменник Пліній Старший (23–79), Гіппарх «відкрив нову зорю та іншу зорю, що ї з'явилася у той час». За іншими даними, він у 134 р. до н. е. зауважив спалах нової зорі в сузір'ї Скорпіона. Це наштовхнуло Гіппарха на думку, що в зоряному світі, можливо, відбуваються певні зміни, які є проте настільки повільними, що їх неможливо зауважити упродовж декількох поколінь. Надіючись, що це все ж можна буде виявити в майбутньому, він склав каталог зір, до якого увійшли 350 об'єктів. Для кожної зорі вказано її довготу, виміряну вздовж екліптики від точки весняного рівнодення назустріч

добовому обертанню небесної сфери до кола широти, що проходить від полюса екліптики через зорю, і широту, відлічену від екліптики уздовж кола широти до зорі. Точніше – розділивши екліптику на 12 частин за кількістю зодіакальних сузір'їв, Гіппарх, услід за іншими астрономами, вказував «знак Зодіаку» і довготу світила, відлічену від «початку знака» (з урахуванням цілих «знаків»).

Важливим же було те, що для кожної зорі Гіппарх вказав її зоряну величину m (це позначення, яке було прийнятим іншими, – перша літера латинського слова *magnitudo* – величина). Він поділив зорі на шість класів таким чином, що найяскравіші відніс до першої, а найслабкіші до шостої зоряної величини. Оскільки у цей час вважали, нібито всі зорі є на однаковій відстані від Землі, то здавалося прийнятним уявлення, що чим яскравіша зоря, тим більшим є її діаметр.

Пліній Старший далі писав так: «Оскільки в день своєї появи вона (зоря – *I. K.*) рухалася, він задумався над тим, чи не може це траплятися часто і чи не рухаються ті зорі, які вважають нерухомими. Він здійснив тоді те, що було б зухвалістю і для Бога, – для майбутніх поколінь він перелічив зорі і сузір'я та дав їм імена. Він винайшов інструменти, за допомогою яких визначав розміри і положення кожної зорі. Таким чином стало можливим дізнатися не лише про те, чи вмирають зорі або народжуються, але й чи переходять вони зі своїх місць, чи слабкішає їхнє світло або розгоряється. Він залишив небеса у спадщину кожному, хто захоче заволодіти ними».

А ось що про Гіппарха написав через 1900 років французький історик астрономії Жан Батист Деламбр (1749–1822): «Коли розглянеш, все, винайдене або удосконалене Гіппархом, і подумаєш над множиною його праць та кількістю здійснених ним обчислень, то мимоволі залічиш його до найдивовижніших мужів древності і назвеш його найвеличнішим з них...»

Однак... єдиним твором Гіппарха, що зберігся, є коментар до поеми Арата та її джерела (праці Евдокса). Про те, що зробив Гіппарх, ми знаємо з «Альмагеста», в якому Птолемей «на кожному кроці» висловлює Гіппархові своє захоплення.

Про те ж, як у часи Гіппарха уявляли собі згадані «зміни у світі зір», можна здогадуватися, узявши до уваги хоча б ось це місце з трактату Цицерона «Про природу богів»: «А природа зір вогняна, тому вони живляться випаровуваннями землі, моря та інших вод.

Ці випаровування спричиняються сонцем із зігрітої землі і з вод. Напившись їх та відновивши себе, зорі і весь ефір виливають їх назад і знову видобувають їх звідти, так що майже нічого не пропадає, або дуже мало з того, що споживає вогонь зір і полум'я ефіру. З цього випливає, що врешті решт весь світ займеться, після того як буде знищена вся волога, коли ні земля не зможе житися, ні повітря не буде з чого відновити себе, адже коли виснажиться вся вода, то і повітря не зможе утворитися. Отже, нічого не залишиться, крім вогню. Але від нього саме, живої істоти і бога, і настане відновлення світу, і відродиться його краса...»

Розділ 7. ГЕОЦЕНТРИЧНА МОДЕЛЬ ПТОЛЕМЕЯ

«Що я смертний, я знаю, і що дні мої злічені; але коли я в думці невпинно і жадібно вистежую орбіти сузір'їв, тоді я більше не дотикаюся ногами Землі: при столі Зевса втішаюся амброзією, їжею богів».

Так звучить епіграф до книги Клавдія Птолемея, яку він сам називав «Μαθηματικῆς Συντάξις βιβλίον ᾿ι», тобто «Математичний трактат (з астрономії) у 13 книгах». Невдовзі цю книгу почали називати «Μεγάλῃ Συντάξις» («Великий твір») і «Μεγίστη» («Найвеличніше»). Долучивши до останньої назви артикль «аль», арабські астрономи «передали» європейцям її сучасне звучання – «Альмагест».

Про автора «Альмагеста» – книги, що була своєрідною енциклопедією античної астрономії, знаємо дуже мало. Відомо лише, що він народився в Єгипті, та протягом 127–151 рр. провадив спостереження в Александрії. Його ж книга стала широко відомою вже, мабуть, за життя автора. Загалом же «Альмагест» вважають однією з небагатьох найважливіших книг за всю історію науки. Головне в ній – спосіб відтворення гармонії руху планет, завдяки якому астрономи упродовж 1400 наступних років могли обчислювати наперед положення кожної з планет!

Найкраще про «Альмагест» сказав А. Паннекук (1966, С.172): «...у цьому чудовому посібнику давньої астрономії... світ небесних тіл постає перед нами як геометрична картина всесвіту. Це – картина вічного безперервного руху по колових орбітах, який підлягає певним законам...»

Таким чином, «Математичний трактат» був карнавальним шестям геометрії, святом найглибшого творіння людського розуму у зображенні всесвіту... Праця Птолемея стає перед нами як величний пам'ятник науки античної давнини».

§ 1. ПРО ЗМІСТ І ДОСТОВІРНІСТЬ ДАНИХ «АЛЬМАГЕСТА»

Передусім варто згадати, що вперше друкарським способом «Альмагест» опубліковано латинською мовою у Венеції (1515 р.) як переклад з арабського тексту, в 1528 р. там же здійснено видання перекладу з грецьких рукописів. Грецькою мовою «Альмагест» надрукований у Базелі (1538 р.) і Копенгагені (1898 і 1903 рр.), німецькою мовою – у Лейпцігу (1912, 1963 рр.).

Короткий зміст книги. У книзі I Птолемей виклав основні постулати своєї теорії: «небосхил має кулясту форму і обертається, як куля», «Земля є кулею і знаходиться в центрі світу», «Земля є точкою порівняно з відстанню до нерухомих зір», як також, що «не маючи ніякого руху, Земля не змінює місця свого положення».

Свої твердження Птолемей обґрунтовує, виходячи з основних положень аристотелівської філософії. Не називаючи імені Аристарха, Птолемей сперечається з тими, «хто вважає небесну сферу нерухомою, а Землю змушує обертатися навколо своєї осі з заходу на схід та здійснювати один оберт за добу». Адже, мовляв, цей обертальний рух Землі був би дуже стрімким, а його швидкість – вища над усяку міру, бо за 24 години необхідно було б описати все коло Землі. Це повинно б перешкоджати тілам падати на Землю, та й усе, що не скріплене міцно з нею, мало б відставати від руху Землі, зміщуватися у протилежний бік – на захід. А цього, мовляв, ми не спостерігаємо.

Сьогодні ми знаємо, що Птолемей у цьому випадку дуже переоцінював роль відцентрової сили, яка виникає при обертанні будь-якого тіла. Однак треба визнати, що на підтвердження своєї геоцентричної системи світу він наводив саме фізичні, а не які-небудь загальнофілософські чи інші міркування.

Значну частину першої і другої книги займають елементи сферичної астрономії. Тут, зокрема, Птолемей подав теореми про плоскі й сферичні трикутники, вперше описав метод вимірювання дуг (кутів) за величинами хорд, що стягують їх (прообраз сучасних синусів), та склав таблицю. Розрахунок хорд Птолемей здійснював таким чином:

у коло вписував прямокутний трикутник, гіпотенузою якого був діаметр. Очевидно, що при пересуванні вершини прямого кута вздовж дуги кола цей кут завжди залишається прямим, величина ж одного з двох інших зростає від 0° до 90° (Птолемей приймав, що прямий кут містить 180° , отже, у нього ця зміна сягає від 0° до 180°), а довжина сторони, протилежної цьому гострому куту (тобто хорди, що стягує відповідну йому дугу), – від нуля до величини діаметра кола. Оскільки тоді греки не знали десяткових дробів (вони використовуються з 1585 р.), а вживали шістдесяткову систему, то було зручним за довжину діаметра брати якесь велике число. Птолемей прийняв його рівним 120. Тоді, зокрема, для дуги 90° довжина хорди записувалася так: $84^p51'10''$, тобто $84 + \frac{51}{60} + \frac{10}{3600}$. Щоб перейти до сучасних позначень, ділимо вказаний кут на 2, а довжину хорди на 120^p , внаслідок чого одержуємо $\sin 45^\circ = 0,7071$. Позначення жр походить від слова *pars* – частина (мають на увазі число частин, яких у діаметрі кола налічується 120), число $84^p51'10''$ записувалося ще й так: 84;51,10.

Тут же Птолемей обговорює методи розрахунку кута нахилу екліптики до горизонту, моментів і тривалості сходу деяких зодіакальних сузір'їв залежно від географічної широти спостерігача, поняття про яку ввів він сам (за іншими даними географічні координати введені Гіппархом). Окремі розділи містять інформацію «Про те, як розрахувати, де, коли і скільки разів Сонце буває прямо над головою» і «Про те, як на основі викладеного визначити відношення гномонів до полуденних тіней в моменти рівнодень і сонцестоянь».

У третій книзі Птолемей виклав теорію видимого річного руху Сонця, «без якої, у свою чергу, неможливо повністю охопити все, що стосується Місяця». У першому розділі «Про тривалість року» Птолемей порівняв дати рівнодення, які він сам спостерігав, з відповідними спостереженнями Гіппарха 285 років раніше. Це й дало йому змогу висувати, що «за 300 років повернення Сонця до точки весняного рівнодення відбувається на день швидше, ніж це було б, якби рік тривав рівно $365\frac{1}{4}$ доби». Звідси випливало, що тривалість року становить 365 діб 5 год 55 хв 12 с – на 6 хв більше справжнього. Тут же, обчислюючи величину прецесії, він отримав 1° за 100 років, тобто $36''$ за рік.

У Книзі IV Птолемей покращив теорію руху Місяця, виявивши розбіжність висновків Гіппарха з тим, що він отримав сам з порівняння вавилонських спостережень місячних затемнень у VIII ст. до н. е. і своїх власних. Він уточнив довжину аномалістичного і драконічного місяців, встановив період назаднього руху місячних вузлів (6796,26 доби \approx 18,5 року) і прямого руху апогею Місяця (3231,63 доби).

У Книзі V описаний кутомірний прилад «астролабон» (армілярна сфера) і «паралактичний інструмент» (трикветрум), далі описано особливості руху Місяця, є тут розділи «Визначення відстані Місяця», «Про величини видимих діаметрів Сонця, Місяця і земної тіні в сизигіях», «Про відстань Сонця і про те, що визначають разом із нею», «Про величини Сонця, Місяця і Землі» і про значення та визначення паралаксів Сонця і Місяця.

У Книзі VI викладено теорії сонячних і місячних затемнень.

У Книгах VII і VIII наведено каталог 1025 зір (в списку їх 1028, однак три зорі повторюються в інших сузір'ях).

У Книгах IX–XIII викладено теорію рухів планет.

Про достовірність даних «Альмагеста». Упродовж багатьох століть праця Птолемея була беззаперечним джерелом відомостей з усіх астрономічних проблем. Однак з часом критика «Альмагеста» все посилювалася. Дійшло до того, що американський астрономісторик Роберт Ньютон у книзі «Злочин Клавдія Птолемея» (1985) написав таке: «Альмагест» наніс астрономії більше шкоди, ніж будь-яка коли-небудь написана праця, і було б набагато краще для астрономії, якби цієї книги взагалі не існувало». Далі, що «найбільшим астрономом античності Птолемей не є», навпаки, він «найбільш удачливий обманщик в історії науки».

Є й інший тип критичного ставлення до «Альмагеста»: твердження, нібито він створений не в II ст. н. е., а в XV або навіть XVI ст. Свого часу російський громадський діяч М. О. Морозов (1854–1946), який з 1881 до 1905 р. був ув'язнений у Шліссельбурзькій фортеці, заявив: «Вся давня і ранньосередньовічна історія людства є витвором епохи Відродження». Мовляв, класична поезія, філософія, драма, давня історія і давня наука виникли у XIV ст. Описані в Євангеліях події М. О. Морозов відносив на 368 р. У 80-х роках нашого століття аналогічні думки висловили М. М. Постников та А. Т. Фоменко. Мовляв, ніякої Римської імперії не було, вся ж римська історія

видумана діячами епохи Відродження, а всі грецькі і римські пам'ятки культури – письмові та архітектурні – сфальсифіковані в Середньовіччя.

В «Альмагесті» справді є окремі числа і твердження, які не могли не викликати здивування і навіть підозри, що Птолемей сам спостережень не проводив, а використав дані Гіппарха, вносячи в них іноді (при цьому – помилкові) поправки. Тому й заявив французький астроном Жозеф Лаланд (1732–1807): «майже всі астрономи знайшли, що автор «Альмагеста» помилявся, і кожен у тій частині, яку він поглиблено вивчав».

Ось приклади. Птолемей нібито визначив тривалість тропічного року, і його числове значення збіглося з даними Гіппарха. У XVIII ст. було виявлено, що у встановленні дня рівнодення Птолемей помилився на 1 день, і це призвело до помилки, бо ж шукана тривалість року була на 6 хв більше справжньої. Далі, нібито на підставі своїх спостережень він визначив величину прецесії – 1° за сто років. Помилкове, але те ж число, яке раніше подав Гіппарх.

Однак найбільшу увагу привертає проблема координат зір у каталозі Птолемея. Структура цього каталога така. Зорі в ньому об'єднані в 70 груп: 21 північне сузір'я (332 зорі), 12 зодіакальних сузір'їв (290 зір), 15 південних сузір'їв (298 зір) і 22 групи зір, які в сузір'я не увійшли (108 зір); зорі ν Волопаса, β Тельця і α Південної Риби є в каталозі двічі.

Для кожної зорі в каталозі наведено опис положення відносно фігури сузір'я або до сусідніх зір, небесні координати на епоху 20 липня 137 р., а також її зоряна величина. Птолемей пояснює, що екліптична система координат є найзручнішою для зоряного каталога, який призначений для тривалого користування, бо екліптичні широти не зазнають впливу прецесії, а екліптичні довготи змінюються пропорційно часу і однаково для всіх зір. Відлік довгот ведеться по зонах в межах кожного з 12 знаків Зодіаку. Блиск зір у каталозі охарактеризовано зоряними величинами від 1 до 6, при цьому часто є проміжні значення 1–2, 2–1, 2–3, 3–2 і т. д. Співставлення з сучасними даними свідчить про те, що пари типу 1–2 і 2–1 відповідають практично одній і тій же зоряній величині. Отже зоряні величини оцінювано з похибкою $\pm 0,25^m$. Аналіз питання: «хто здійснював оцінки блиску зір» показав, що тут Птолемей повністю запозичив

дані Гіппарха. Одним з доказів цього є відсутність числових характеристик блиску зір сузір'я Малого Коня, а воно якраз не згадане в каталозі Гіппарха.

Отже багато астрономів XVIII–XIX ст. звернули увагу на той факт, що нібито координати зір у каталозі Птолемея досить точно збігаються з їхніми значеннями за каталогом Гіппарха, якщо від довготи кожної зорі відняти одне і те ж число – $2^{\circ}40'$, що відповідає помилковому, заниженому значенню річної прецесії $36''$. Виглядає так, ніби Птолемеєв спостережень взагалі не проводив, а лише теоретично перерахував дані Гіппарха на свій час. Або – здійснював їх дуже грубо. Якщо проводив перерахування, то насправді повинен був додавати $3^{\circ}40''$ – на стільки за рахунок прецесії за 265 років, що відділяли працю двох астрономів, зросли довготи зір. Аналіз показує (М. Ю. Шевченко, 1988), що для 323 зір із зодіакальних сузір'їв і близьких до них систематична похибка каталога Птолемея становить $65'$. Тобто довготи, наведені Птолемеєм, більш ніж на 1° менші від їхніх справжніх значень на вказану епоху.

Отже, повторимось, це питання цікавить астрономів віддавна. Про те, що Птолемеєв сам спостережень не проводив, а використав каталог Гіппарха, твердив арабський астроном X ст. ас-Суфі, його сучасник хорезмієць Біруні, згодом Тіхо Браге, Делаамбр і, як вже згадано, найбільш войовничо, – Р. Ньютон. Тим часом є й інша точка зору, яку відстоював Лаплас, а в наш час – О. Педерсен та О. Нейгебауер: Птолемеєв проводив самостійні спостереження принаймні частини зір каталога, однак недосконалість методики спостережень та визначення координат зір і були причиною цих значних систематичних похибок.

Методика спостережень, що їх проводив Птолемеєв за допомогою «астролабона», описана нижче. Тут обмежимося лише висновками, що їх зробив М. Ю. Шевченко (1988), детально проаналізувавши усі фактори, які могли вплинути на точність спостережень та обчислення координат зір: «найважливіша проблема найдавнішого каталога, вирішення якої зразу дозволить відповісти на ряд інших, більш часткових, але не менш цікавих питань, чи проводив Птолемеєв спостереження самостійно чи скористався даними попередників, на сьогодні залишається відкритою». І далі: «Наявність середньої систематичної похибки в довготах близько градуса дуги однаково

успішно пояснюється як неправильною редуцією каталога Гіппарха (у випадку, якщо Птолемей сам не спостерігав), так і специфікою методики спостережень, де за основу приймалося обчислене значення довготи Сонця. Обидва ці пояснення мають і свої труднощі. Твердження Р. Ньютона про те, що проведений ним статистичний аналіз часток градуса у довготах зір каталога доводить наявність у всіх довготах поправки $2^{\circ}40'$, виявляється неспроможним при вивченні окремих груп зір».

Дуже обнадійливим у справі визначення епохи зоряного каталога «Альмагеста» здавався метод аналізу власних рухів зір. Річ у тім, що в декількох внесених в каталог «Альмагеста» зір власні рухи сягають $1''-4''$ і, отже, за 2000 років ці зорі зміщуються відносно зір фону на $0,5-2^{\circ}$, а це в 5–10 разів перевищує похибки визначення положень зір каталога Птолемея. Знаючи координати цих зір сьогодні (а точність їх встановлення на п'ять порядків вища, ніж у каталозі «Альмагеста») і власні рухи зір, можна, пересуваючись у часі назад, знайти епоху, коли конфігурація групи зір, в якій є зорі з великими рухами, була б найближчою до тієї конфігурації, що відповідає координатам у каталозі «Альмагеста». Це і буде епоха спостережень цього каталога. Метод цей привабливий тим, що на результат не впливають ні прецесія, ні систематичні похибки в координатах зір.

Зауважимо, що якраз Едмунд Галлей (1656–1742), порівнюючи сучасні йому координати зір з даними каталога «Альмагеста», виявив явище власних рухів зір.

Методика аналізу тут полягає в наступному. Беруть невелику групу (5–10) зір у певному сузір'ї, з яких принаймні одна зоря має великий власний рух. Для кожної пари зір у групі обчислюють різницю Δr між відстанями, знайденими для двох каталогів – сучасного (наприклад, FK4) і каталога Птолемея. Далі за всіма можливими парами зір у групі знаходять середнє значення квадрата цієї різниці $\overline{\Delta r^2}$. Очевидно, що за наявності власних рухів зір величина $\overline{\Delta r^2}$ буде змінюватися, якщо координати зір із каталога FK4 перерахувати з 1950 р. на довільну епоху T_0 з урахуванням лише власного руху зір. Якщо при цьому наближуватися до епохи створення каталога «Альмагеста», то величина $\overline{\Delta r^2}$ зменшується, і навпаки. Отже, ця величина є функцією невідомої нам епохи створення каталога «Альмагеста».

Такий аналіз і проведений Ю. М. Єфремовим та О. Д. Павловською (1989). Висновок їхньої роботи такий: «...каталог «Альмагеста» з дуже великою імовірністю не є середньовічною підробкою... Формально обчислене середньозважене значення T_0 з урахуванням ...середньоквадратичних помилок відповідає 2 року н. е., а єдиний спільний для всіх груп інтервал, що попадає в межі середньоквадратичних помилок епох T_0 при моделюванні, – це I вік до нової ери. Зоряний каталог «Альмагеста», таким чином, складено в епоху античності і дещо ближче до часу життя Гіппарха. Щоправда, залишається не виключеною можливість, що яскраві зорі Птолемея спостерігав сам. Певним аргументом на користь такого припущення є більш пізні (на два – чотири століття), ніж для інших зір епохи, отримані нами для двох зір першої величини, що були у нашій добірці, – Арктура і Сиріуса».

Це справді найвірогідніший висновок: Птолемея таки проводив спостереження та визначав координати зір. І замість звинувачувати його в обмані, як це робить Р. Ньютон, варто б задати питання: чи під силу було одній людині в середині II ст. н. е. самому і без помилок (цих небажаних супутників майже кожного наукового дослідження) виконати увесь викладений в «Альмагесті» обсяг роботи. Бо ж, маючи потужні телескопи та електронно-обчислювальні машини, ми звинувачуємо в помилках і навіть у свідомій підробці результатів людину, яка вимірювала кути за допомогою трьох лінійок і проводила обчислення, користуючись, образно кажучи, усього лише жменькою камінчиків...

І ще – Р. Ньютон проти Птолемея. Виступаючи безкомпромісно проти Птолемея, Р. Ньютон оголосив, що Птолемея сфабрикував практично всі дані про місячні затемнення, які згадані в «Альмагесті». Навіть нібито й ті, ще трапилися під час роботи Птолемея над «Альмагестом»...

Отже усього в «Альмагесті» згадано 107 датованих астрономічних спостережень: 21 місячне затемнення, характерні сходи планет, їх сполучення з Місяцем та з деякими відомими зорями й ін. Так, у розділі 6 Книги IV Птолемея детально описав три місячні затемнення, які спостерігалися у Вавилоні в 1-й та 2-й роки правління царя Мардокемпада (Мардук-аплаїддина II). Ось датування перших двох: «З трьох давніх затемнень, вибраних нами з тих, що

спостерігали в минулому у Вавилоні, перше, згідно з записами, що збереглися, відбулося в 1-й рік Мардокемпада 29/30-го єгипетського [місяця] Тота». І далі: «Друге затемнення відбулося, згідно записів, у 2-й рік [правління] того ж Мардокемпада 18/19-го єгипетського [місяця] Тота». Тут же у розділі 7 Птолемей наводить підрахунок днів, що минули, зокрема, з 18/19-го Тота 2-го року Мардокемпада до 2/3-го Хойяка 19-го року правління імператора Адріана (20 жовтня 134 р. н. е.), коли також спостерігали місячне затемнення: «854 єгипетських роки (по 365 діб – І. К.) 73 дні і $23\frac{5}{6}$ рівноденних години», тобто усього 311 783 повних доби з дробовою частиною її. І, нарешті, у розділі 8 Книги IV Птолемей обговорює вибір епохи для побудови своєї теорії руху Місяця: 1-й рік Набонассара, 1 Тота, що відповідає 26 лютого 747 р. до н. е. Перше зі згаданих вище місячних затемнень сталося у 27 р. ери Набонассара.

Сучасні розрахунки показали, що й справді у цей час відбулося три повних місячних затемнення: 19 березня 721 р., 8 березня і 1 вересня 720 р. до н. е. До речі, дробові дати Птолемей записує тому, що він відлічує доби від півдня, тоді як єгиптяни розпочинали лічбу від світанку.

Р. Ньютон загострив увагу на тому, що, вказуючи дані про давні спостереження затемнень Місяця у Вавилоні, Птолемей подає їхні дати не за вавилонським календарем, а виключно за єгипетським. З цього нібито випливає, що насправді у Птолемя і не було вавилонських записів спостережень, а він розрахував ці затемнення за своєю моделлю руху Місяця і Сонця для того, щоб згодом заявити, що ці затемнення підтверджують його теорію. Мовляв, з огляду на те, що вставки місяців у вавилонському календарі тоді здійснювали нерегулярно, переведення дати єгипетського календаря в дату календаря вавилонського було для Птолемя заважким. Тому то він нібито і вказував лише рік ери Набонассара...

Відповісти на це можна так. Птолемей у багатьох випадках спирається на свого попередника Гіппарха. Наприклад, зауважує: «Гіппарх, порівнюючи вавилонське спостереження Місяця зі своїм власним, ...знайшов тривалість синодичного місяця рівною 29,53059 доби». Отже, Гіппарх, напевне, мав довгі ряди спостережень вавилонських астрономів. Вказану тривалість синодичного місяця він обчислив, маючи дані за 345 років, тобто принаймні з 500 р. до н. е.

І можна гадати, що Гіппарх перевів дати місячно-сонячного вавилонського календаря на календар єгипетський і що цим списком користувався Птолемей.

В міркуваннях Р. Ньютона є порочне коло: щоб побудувати добру теорію (за якою розраховані на 850 років назад затемнення сьогодні підтверджено) Птолемей повинен був мати довгі ряди спостережень. А якщо вони були, то не було потреби їх підробляти.

§ 2. ТЕОРІЯ РУХУ СОНЦЯ І МІСЯЦЯ

Рух Сонця. Розглядаючи задачу про рух Сонця по екліптиці, Птолемей, услід за Гіппархом, обговорив можливість моделювання цього руху ексцентром або комбінацією епіцикла і деферента. Птолемей зупиняється на першому з варіантів, враховуючи, що гіпотеза ексцентра є простішою, оскільки вона досягає мети за допомогою лише одного руху.

Принцип укладання таблиці для визначення положення Сонця на екліптиці, за Птолемеєм, є таким. Нехай O (рис. 2.8) – центр ексцентра, T – положення Землі, P – Сонце, A – апогей його орбіти, OU і TU – напрям на точку весняного рівнодення, від якого відлічують довготу апогею Π , середню довготу Сонця $\bar{\lambda}$ та його істинну довготу λ . Очевидно, що $\lambda = \Pi + M - x$, де M – за Птолемеєм – *аномалія*, $x = M - v$ – *рівняння центра*, або *простаферезис*.

Тут $M = \frac{360^\circ}{T}(t - t_0)$,

де t_0 – момент проходження Сонця через апогей, T – тропічний рік. З трикутників PKO , PKT , PFT і PFN неважко отримати в аналітичному вигляді залежності x , v та відстані до Сонця r від M і значення ексцентриситету $\varepsilon = \frac{OT}{OP}$.

Детальний аналіз цієї задачі здійснив Н. І. Ідельсон (1975). Ми ж обмежимося двома зауваженнями. По-перше, при знайденій Гіппархом величині ексцентриситету $\varepsilon = 1/24 = 0,0417$ найбільшого значення рівняння центра досягає

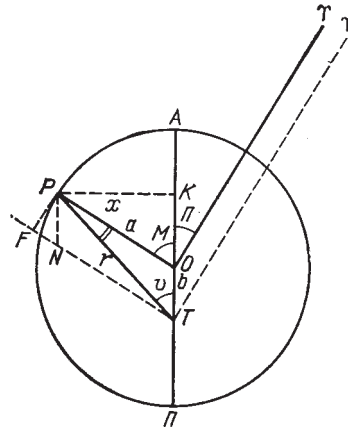


Рис. 2. 8. До визначення «першої нерівності», числове значення якої було основним елементом сонячних таблиць протягом майже 2000 років.

при $M = 90^\circ$, і воно дорівнює $2^\circ 23'$: на стільки Сонце, зміщуючись від апогею до перигею, відстає у своєму русі від «середнього сонця» і, навпаки, переганяє його при русі від перигею до апогею. І, по-друге, у свій час Гіппарх визначив довготу апогею в $P = 65^\circ 30'$ з похибкою близько $0,5^\circ$. Птолемей, проводячи спостереження приблизно через 300 років після Гіппарха, «прийняв як догмат, що довгота апогею Сонця назавжди зберігає стале значення, те, що знайшов Гіппарх». А насправді довгота апогею збільшується на $1^\circ 42'$ за сто років. Щоправда, цей факт було встановлено арабським астрономом аль-Батані (бл. 850–929). Однак коли Птолемей через 300 років після Гіппарха отримує те ж значення довготи апогею, то він допустився похибки близько 5° . Не диво, що Делаамбр назвав птолемеєві спостереження Сонця «дещо підозрілими...»

Проте, коли взяти належні значення довготи апогею і ексцентриситету, то, як показав Н. І. Ідельсон, «помилка таблиць в довготі Сонця на найближчі десятиліття не перевищила б $1' - 2'$ ».

Рух Місяця. Перед тими, хто звинувачує Птолемея у легковажності щодо проведення спостережень і навіть у підробці їх, ставлять звичайно питання: тоді як це сталося, що саме Птолемей виявив у русі Місяця нерівність *евекції*. Він встановив, що положення Місяця на небесній сфері відхиляється від теоретичного після врахування (!) «першої нерівності»: у першій чверті Місяць зміщується вперед на $76'$, у третій він на стільки ж відстає. Кажуть інакше: у квадратурах Місяць, пересуваючись на небі, більш ніж на два свої кутові діаметри відхиляється від обчисленого положення, якщо враховано лише «першу нерівність».

Моделюючи рух Місяця системою епіцикл – деферент, Птолемей повинен був врахувати відкрите Гіппархом обертання лінії апсид і той факт, що Місяць повертається до апогею (і тоді його швидкість має найменше значення) за аномалістичний місяць $T_a = 27,555$ доби.

В теорії Птолемея (рис. 2.9) Місяць рухається по епіциклу радіусом $b = 5\frac{1}{6} R_\oplus$ за годинниковою стрілкою і здійснює повний оберт на ньому за T_a , «середній місяць» (центр епіцикла) рухається по деференту радіусом $A = 48\frac{5}{6} R_\oplus$ проти годинникової стрілки з періодом, що дорівнює синодичному місяцеві. Центр же деферента є на відстані $S = 10\frac{1}{6} R_\oplus$ від Землі (буваючи з протилежного відносно

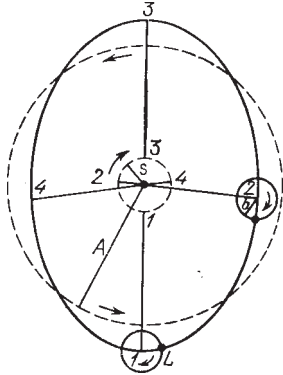


Рис. 2. 9. Рух Місяця за Птолемеєм.

Місяця боку!) і обертається навколо неї з тим же періодом за годинниковою стрілкою. Таким чином, найбільшою буде відстань до Місяця у сизигіях (новий і повний Місяць), якщо до того ж Місяць перебуває в апогеї. Тоді маємо $A + s + b = 64\frac{1}{6}R_{\oplus}$. В квадратурах же ця відстань може бути в межах від $A - s + b = 43\frac{1}{6}R_{\oplus}$ до $A - s - b = 33\frac{1}{2}R_{\oplus}$, тобто може бути удвічі меншою, ніж у сизигії.

Очевидно, для Птолемея важливим було розробити метод обчислення положень Місяця на небі. Тому він лише між іншим зауважив, що коли Місяць перебуває ближче, то

спостерігач не може охопити зором усієї величини його діаметра. Похибка ж у визначенні положення Місяця не перевищувала $10'$. І ще одна цікава риса моделі Птолемея. Аномалію M , якою визначається положення Місяця на епіциклі, слід відлічувати від змінного апогею – від точки H (рис. 2.10), яка визначається

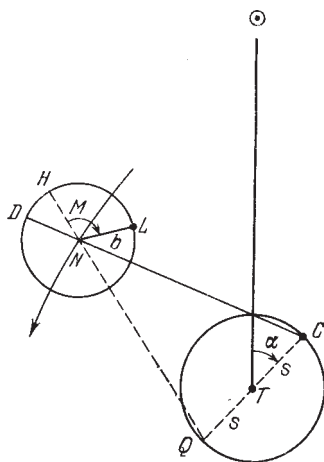


Рис. 2. 10. Відлік аномалії Місяця M в системі Птолемея.

напрямом від точки Q , що знаходиться на діаметрально протилежній частині кола, описуваного центром деферента C .

Про відстань до Сонця. Виходячи з вже відомих даних про відстань до Місяця і величину кутового радіуса земної тіні на орбіті Місяця, Птолемей шляхом геометричних розмірковувань спробував визначити відстань до Сонця в одиницях радіуса Землі. І тим самим – отримати масштабну одиницю для вимірювання відстаней до всіх інших світил. А оскільки знайдене ним число використовували близько півтори тисячі років, майже до Ньютона, доречно повторити хід його міркувань.

Отже, нехай AC , EH , KM і OP відповідно діаметр Сонця, Місяця, Землі і земної тіні на відстані орбіти Місяця (рис. 2. 11). Як бачимо, Птолемей поклав, що вершина конуса місячної тіні збігається

з центром Землі. Далі він прийняв, що кутовий діаметр Місяця – кут $ENH = 31'20''$ і що відстань до Місяця в його найбільшому віддаленні

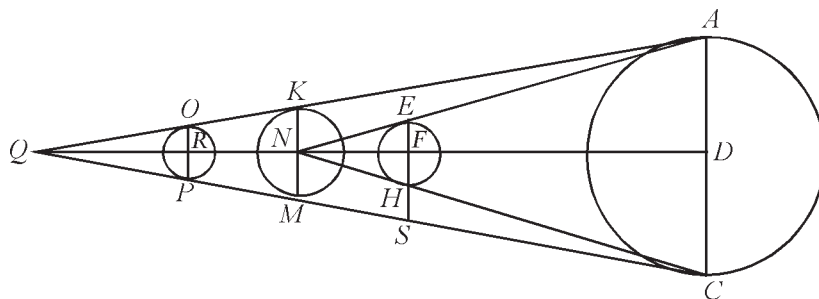


Рис. 2. 11. Система подібних трикутників, за допомогою яких Птолемей визначав відстань до Сонця.

від Землі $NF = 64\frac{1}{6}R_{\oplus}$. Позначивши радіус Землі через 1° , Птолемей знайшов, що радіус Місяця (у вавилонській системі запису дробів) $FH = 0^{\circ}47'33''$.

Птолемей використав знайдене Гіппархом значення радіуса земної тіні на відстані орбіти Місяця, з чого випливає, що

$$RP : FH = 2\frac{3}{5} : 1, \text{ так що } RP + FH = 1^{\circ}3'11''.$$

$$\text{Але } RP + FS = 2^{\circ} (= 2R_{\oplus}), \text{ тому } FS = 2^{\circ} - RP = 1^{\circ}14'22'' \text{ і}$$

$$HS = FS - FH = 0^{\circ}56'49''.$$

З подібності чотирьох трикутників випливає, що

$$NM : HS = NC : HC = ND : FD \text{ або}$$

$$1^r : 0^{\circ}56'49'' = ND : FD.$$

Поклавши $ND = 1^a$, маємо $FD = 0^{\circ}56'49''$. І оскільки $NF = ND - FD = 0^{\circ}3'11''$, $NF = 64^{\circ}10'$, то в підсумку і випливає $ND = 1210^{\circ}$: відстань від Землі до Сонця дорівнює $1210R_{\oplus}$.

Аналогічним шляхом Птолемей знайшов, що конус земної тіні простягається на відстань $NQ = 268R_{\oplus}$.

Як знаємо сьогодні, насправді відстань від Землі до Сонця становить не 1210, а 23 455 радіусів Землі, тобто вона в 19,38 раза більша. Річ у тому, що Птолемей при своїх обчисленнях зробив декілька взаємно несумісних припущень. Зокрема, видимий діаметр Місяця в апогеї дорівнює не $30'20''$, а $29'20''$. У такому положенні конус його тіні взагалі не досягає Землі (відбувається кільцеподібне затемнення Сонця). Однак Птолемей із своїх розмірковувань отримав

результат, який і в такому вигляді істотно перевищував число Аристарха (в 3,35 раза), і він цим задовольнився...

§ 3. РУХ ПЛАНЕТ В МОДЕЛІ ПТОЛЕМЕЯ

СПОСТЕРЕЖУВАНА КАРТИНА РУХУ. Як і Сонце, планети рухаються приблизно уздовж екліптики нерівномірно, і в цьому проявляється «перша нерівність» їхнього руху. Нерівномірність же в русі планет у порівнянні з Сонцем названа «другою нерівністю». Так (Вступ, § 7), для одної групи планет (Марс, Юпітер, Сатурн) типовим є те, що у процесі свого руху з заходу на схід вони відстають від Сонця, тобто Сонце їх наздоганяє і переганяє. Перебуваючи ж у протилежній відносно Сонця частині неба, планета описує петлю, причому в момент протистояння вона знаходиться в середині дуги назадного руху. Планети другої групи (Меркурій і Венера) то переганяють Сонце, рухаючись на схід, і тоді їх видно ввечері, то зупиняються починають назадній рух, зникають у променях Сонця (нижнє сполучення планети з Сонцем), після чого з'являються на небі вранці.

Як вже знаємо, проміжок часу S , за який планета відносно Сонця займає те ж положення на небі, зветься синодичним періодом її обертання.

Птолемей і поставив перед собою задачу: розробити метод, за допомогою якого можна було б обчислювати довготи планет, враховуючи «першу» і «другу» нерівність. При цьому він зауважив, що Гіппарх у свій час «обмежився лише тим, що зібрав спостереження для їх майбутнього використання і довів за їхньою допомогою, що гіпотези сучасних йому астрономів можуть бути узгоджені з цими спостереженнями». Тут доречно згадати і висловлювання давньогрецького письменника Плутарха (бл. 46 – бл. 126): «Дотепер рухи світил переважали знання математиків...»

Розв'язати цю задачу Птолемеєві вдалося за допомогою комбінацій деферентів та епіциклів, причому для планет необхідно було вводити два окремих параметри: кутову швидкість руху центра епіцикла по деференту ω і кутову швидкість планети на епіциклі σ . Третім параметром задачі є відношення радіуса епіцикла b до радіуса деферента, тобто $\delta = b/a$.

Для визначення кутових швидкостей руху планет на епіциклах і швидкостей руху центрів епіциклів («середніх планет») на деферентах

Птолемей провів тривалі спостереження планет, використовуючи такі проміжки часу, за які планета, здійснивши певну кількість обертів відносно Сонця, поверталася у те у сузір'я (можливо, він якоюсь мірою використав результати Менелая, автора книги «Сферика», про якого відомо, що він у 98 р. н. е. проводив астрономічні спостереження в Римі). У підсумку Птолемей отримав співвідношення між числом синодичних періодів обертання планет S (позначені – с.п.), років і днів (р., дн.) і кількістю повних циклів пересування планети серед зір, тобто її обертань (об.):

Сатурн	57 с.п. = 59 р. + $1\frac{3}{4}$ дн. = 2 об. + $1^{\circ}43'$,
Юпітер	65 с.п. = 71 р. – $4\frac{9}{10}$ дн. = 6 об. – $4^{\circ}50'$,
Марс	37 с.п. = 79 р. + $3\frac{13}{60}$ дн. = 42 об. + $3^{\circ}10'$,
Венера	5 с.п. = 8 р. – $2\frac{3}{10}$ дн. = 8 об. – $2^{\circ}15'$,
Меркурій	145 с.п. = 46 р. + $1\frac{1}{30}$ дн. = 46 об. + 1° .

Знак «плюс» означає, що, скажімо, для Сатурна 58-ме від початку лічби протистояння настало на 1,75 доби пізніше і на $1^{\circ}43'$, до сходу від вихідного, 1-го в лічбі. Звідси, до речі, випливає, що планета Венера через 8 років практично повністю повторює свій шлях на небі «двома днями раніше і на 2° західніше, ніж у попередньому циклі».

Якщо тут знехтувати невеликими доданками (добами і градусами), то для верхніх планет – Сатурна, Юпітера і Марса – маємо їхні синодичні періоди $S = 59\frac{3}{4}$, $71\frac{1}{10}$ і $79\frac{13}{60}$ року відповідно, тобто 378,07; 398,97 і 779,86 доби. Цими значеннями і визначають швидкість руху планет по епіциклах: $\sigma = 0,952^{\circ}$, $0,902^{\circ}$ і $0,462^{\circ}$ за добу. Для нижніх планет – Меркурія і Венери – $S = 8\frac{3}{10}$ і $46\frac{3}{10}$ року або відповідно 583,9 та 116 діб, так що швидкість їхнього пересування на епіциклах $\sigma = 0,617^{\circ}$ та $3,1^{\circ}$ за добу. Птолемей навів ці значення з точністю «до сексти градуса» (наприклад, для Сатурна $\sigma = 0^{\circ}57'17''43'''41''''43''''''40''''''''$).

Урахування «нерівностей». Завдяки вмілій комбінації двох колових рухів Птолемеєві вдалося пояснити особливості руху кожної планети, передовсім врахувати як «першу», так і «другу» нерівності. Розглянемо спочатку цю другу. Тобто з'ясуємо, як, використовуючи систему епіцикл – деферент, можна отримати в проекції на небесну сферу петлеподібний рух планети.

Нехай у певний момент часу планета перебуває на епіциклі в точці P_1 (рис. 2.12), а центр епіцикла – на деференті у точці N_1 . У процесі

рівномірного колового руху обох точок – планети з кутовою швидкістю σ навколо точки N і самої точки N («середньої планети») як центра епіцикла з кутовою швидкістю ω навколо Землі – планета

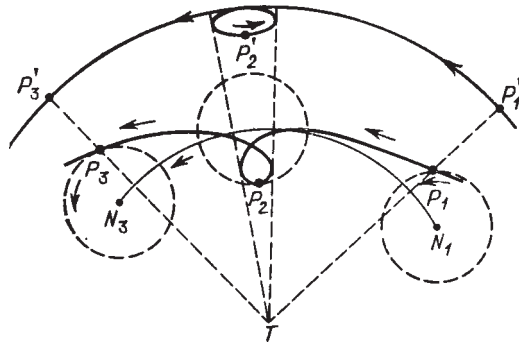


Рис. 2. 12. Пояснення петлеподібного руху планет в системі світу Птолемея.

описе петлю, яку спостерігач і бачитиме в проекції на небесну сферу. Причина утворення петлі очевидна: у точці P рухи по епіциклу і по деференту спрямовані в один бік – справа наліво. Описавши дугу в 180° , планета вже рухається по епіциклу зліва направо, що й створює на небесній сфері ефект петлі.

Для врахування «першої нерівності» Птолемей розробив теорію «бісекції ексцентриситету», тобто його рівного поділу. Н. І. Ідельсон цю теорію назвав шедевром античної науки. Суть же її полягає в наступному.

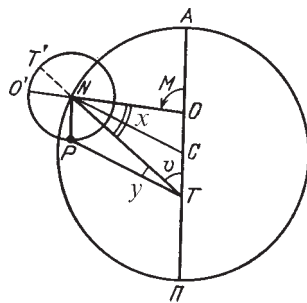


Рис. 2. 13. «Бісекція ексцентриситету» і встановлення довготи планети.

Нехай (рис. 2. 13), як і раніше, T – центр екліптики, в якому перебуває спостерігач, O – центр рівномірного руху, причому $OT = \epsilon a$. Птолемей поділив відрізок OT пополам і далі розглядав рух «середньої планети» (тобто центра епіцикла) по колу з центром у точці C . Але прийнято, що рух «середньої планети» є рівномірним не відносно точки C , а відносно точки O , тобто сталою кутовою швидкістю введено лише для напрямку ON . Згодом європейські астрономи (при складанні «Альфонових таблиць»)

назвали точку O **еквантом** (від лат. *aequans* – рівний). Так же названо і коло з центром у точці O .

Обчислення довготи планети λ проводили в такому порядку: спочатку задавали момент t_0 переходу центра епіцикла через точку A (апогей), в цей час справжня планета P також перебувала на лінії TA (!). Далі для кожного наступного моменту t обчислювали кут рівномірного відхилення аномалії M від апогею: $M = \omega(t - t_0)$.

Одночасно обчислювали і кут $\Sigma = \sigma(t - t_0)$, на який за цей же час змістилася планета по епіциклу, а в підсумку – кут u , під яким з точки T видно радіус епіцикла PN . Довготу планети λ знаходили як суму величин P, M, u (в «Альфонсових таблицях» її названо «рівнянням аргумента») і «рівнянням центра» x : $\lambda = P + M - x + u$ (детальний аналіз цього питання провів Н. І. Ідельсон (1975)).

Завдяки «бісекції ексцентриситету» Птолемей зумів утрічі зменшити похибку у визначенні рівняння центра x , при цьому також істотно підвищено точність визначення відносної відстані до планети (значення e/a). Зокрема, найбільше відхилення для Марса по довготі досягало $\delta x = \pm 7,5'$. У зв'язку з цим Н. І. Ідельсон писав: «Але якраз ці граничні відхилення в довготах і радіус-векторах Марса були тим самим джерелом, з якого виросла, внаслідок вражаючих праць Кеплера, теорія справжнього еліптичного руху планет» (похибка спостережень Птолемея сягала $\pm 10'$).

І далі: «Але очевидно, що усією цією грандіозною працею, даючи завершене застосування до планетних рухів своєї теорії бісекції ексцентриситету, Птолемей здійснив надзвичайно важливий зсув астрономічної науки: відмовляючись тут від тої догми *рівномірних* колових рухів, якою була насичена вся грецька філософія, на якій наполягали упродовж століть мислителі шкіл Піфагора, Платона, Аристотеля, Птолемей дав, на наш погляд, такий же потужний поштовх думкам Кеплера, як Аристарх Самоський і деякі ранні піфагорійці своїми висловлюваннями про рух Землі впливали на зародження коперніканської доктрини».

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛІ. У «первісній» системі Аристотеля порядок світил був таким: Місяць, Сонце, Венера, Меркурій, Марс, Юпітер, Сатурн. Птолемей, враховуючи особливості руху планет відносно Сонця, визнав за необхідне змінити їх розташування відносно Землі, у нього цей порядок такий: Місяць, Меркурій, Венера, Сонце, Марс, Юпітер, Сатурн. При цьому в його системі світу були такі особливості (рис. 2. 14):

1) Кожна з верхніх планет перебуває на епіциклі в тому ж напрямі відносно центра епіцикла, в якому відносно спостерігача знаходиться Сонце. Це значить, що радіус-вектори епіциклів Марса, Юпітера і Сатурна завжди паралельні між собою (і паралельні напрямку «Земля – Сонце»). Звідси випливає, що, перебуваючи у сполученні

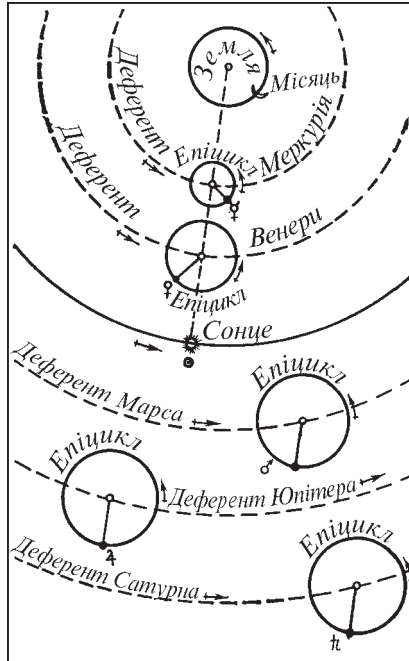


Рис. 2. 14. Особливості системи світу за Птолемеєм.

з Сонцем, планета проходить через апогей, а в протистоянні – через перигей своєї орбіти. В обох цих випадках справжня планета P проектується на небесну сферу в ту ж точку, що й центр епіцикла («середня планета») N . Тому, поділивши число років, за яке та чи інша планета повернулася до тої ж фази (наприклад, до протистояння), на число повних обертів, можна знайти періоди обертання «середніх планет» (точки N , центра епіцикла планети) на деферентах: $T = 59/2, 71/6$ і $79/42$ відповідно для Сатурна, Юпітера і Марса. Їм відповідають середні кутові швидкості точки N на деференті $\omega = 0,033; 0,083$ і $0,524^\circ$ за добу або відповідно $12,18; 30,34$ і $191,35^\circ$ за рік. І ці величини Птолемей дає з

точністю до шостої і навіть восьмої 60-ї частини градуса.

2) Центри епіциклів нижніх планет завжди перебувають на прямій, що з'єднує спостерігача з Сонцем. Інакше кажучи, кутова швидкість середньої нижньої планети ω така ж, як і для Сонця. Позначимо її через μ .

Водночас для кожної з верхніх планет виконується співвідношення $\omega + \sigma = \mu$. Тому також є рівність $k = z + s$, де k – число років, z – число повернень верхньої планети в ту ж точку неба і s – кількість синодичних повернень.

І тут доцільна навести слова Н. І. Ідельсона, що якраз стосуються третього розділу IX книги «Альмагеста» який має назву «Про періодичні повернення п'яти планет»: «...жоден з інших розділів славетного трактату не має в собі стільки загадкового, можна навіть сказати, стільки таємничого матеріалу, як саме цей третій розділ. Птолемей подає тут деякі постулати, що стосуються рухів планет, і деякі числові співвідношення між їхніми рухами; взяті самі по собі, всі ці співвід-

ношення правильні, але звідки він їх одержав, яка доктрина лежить в основі цих постулатів, – усе це залишається зовсім непоясненим і, мабуть, залишиться назавжди непояснене в історії науки».

І далі: «...як міг цей славетний астроном-теоретик... не врахувати, що знайдені ним умови геоцентричного руху планет виявляють такі співвідношення і гармонії, котрі були б зовсім немислимі, якби рухи всіх планет не були спряжені і пов'язані між собою єдиним рухом Сонця... Як міг він, одним словом, не прийти до елементів геліоцентричної системи? У цьому полягає одна з нерозгаданих таємниць історії науки. У зв'язку з цим деякі найбільші дослідники вважають за можливе припустити, що геоцентрична система Птолемея є лише переробкою і відгуком кимсь і колись там детально розробленої геліоцентричної системи, можливо, закинутаї згодом через різноманітні побоювання та забобони». Бо, мовляв, «дуже варте уваги те, що в тому місці «Альмагеста» (кн. I, розділ 7), де Птолемей бореться з думками «деяких філософів», які допускали обертання Землі, він не називає жодного імені; таким чином створюється враження, що всяка згадка про суть вчення Аристарха... була старанно витравлена з «Альмагеста»...»

Про розміри епіциклів. Варте уваги те, як Птолемей встановив для кожної з планет відношення радіуса епіцикла до радіуса деферента, тобто значення $\delta = b/a$. Отже, зокрема, для верхньої планети в момент її протистояння положення на небі справжньої та середньої планети збігаються. Кутова швидкість ω середньої планети N відома. Це дає можливість розрахувати її екліптичну довготу λ_N на довільний момент часу t : $\lambda_N = \lambda_0 + \omega t$. Водночас проводяться виміри довготи справжньої планети λ_p для встановлення моменту, коли кутова відстань між нею і центром T її епіцикла N буде найбільшою: $\lambda_p - \lambda_N = \psi$. У цьому положенні напрями від планети P на точку N і на Землю (точка T)

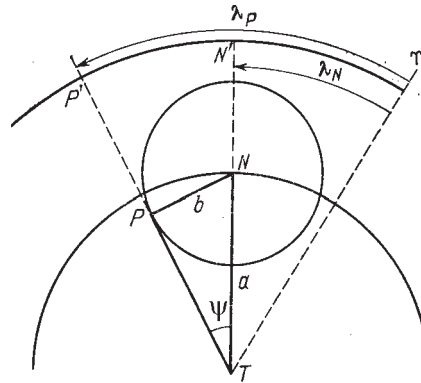


Рис. 2. 15. До встановлення Птолемеєм відношення δ радіуса епіцикла до радіуса деферента для верхньої планети.

утворюють прями́й кут (рис. 2.15). Після того, як кут ψ виміряно, з трикутника PNT знаходять, що $b/a = \delta = \sin \psi$. Зокрема, для Сатурна $\psi = 6^\circ 12'$ і $\delta = 0,108$, для Юпітера $\psi = 11^\circ 5'$ і $\delta = 0,192$, для Марса $\psi = 41^\circ 12'$ і $\delta = 0,658$. Для нижніх планет – Меркурія і Венери – значення δ знаходять взагалі просто за вимірюванням найбільшої елонгації планети, і відповідно $\delta = 0,376$ і $0,720$.

Напрям лінії апсид, тобто орієнтацію деферента як ексцентра у просторі, визначають шляхом багаторазового вимірювання кута ψ , коли планета проектується на різні ділянки неба. Очевидно, що коли вона поблизу апогею, то цей кут буде найменшим, поблизу перигею – найбільшим. За величиною прискорення в русі середньої планети відносно точки T встановлюють і значення ексцентриситету планети ϵ (слід пам'ятати, що воно удвічі більше введеної пізніше кеплерівської характеристики еліптичної орбіти: $\epsilon = 2e$, оскільки, грубо кажучи, ним визначається відстань між фокусами еліпса).

Птолемей врахував відхилення планет від екліптики у процесі їхнього руху серед зір. Для Марса, Юпітера і Сатурна він увів кути нахилу деферента до екліптики і епіцикла до деферента. Для Меркурія і Венери введено коливання вверх і вниз за допомогою невеликих вертикальних кіл. Описуючи ж рух Меркурія, Птолемей дійшов висновку, що деферент цієї планети є овалом, а Земля розташована на великій осі за його центром.

В останній, тринадцятій книзі Птолемей зауважує: «Нехай ніхто, дивлячись на недосконалість наших людських зусиль, не вважає запропоновані тут гіпотези надто штучними. Ми не повинні порівнювати людське з божественним... Просто небесні явища не можна розглядати з погляду того, що ми звемо простим або складним, оскільки у нас – все довільне і змінне, а в небесних ествах – усе строге і незмінне, так що їхні рухи по орбітах не можна уявляти собі вимушеними і важкими...»

§ 4. ІНСТРУМЕНТИ ЧАСІВ ПТОЛЕМЕЯ. МЕТОДИКА СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Кутомірні інструменти. В «Альмагесті» Птолемей описує декілька приладів, за допомогою яких він та інші астрономи – його сучасники проводили спостереження, тобто визначали кутові відстані між світилами. Передовсім – це «*полуденне коло*», яким вимірювали нахил екліптики до екватора і визначали положення Сонця на екліптиці.

Прилад складався з металевого кола довільного радіуса, яке поділяли на 360° і встановлювали на надійній підставці вертикально у площині меридіана. До кола допасовували внутрішнє менше кільце, на якому у діаметрально протилежних точках встановлювали візирні площадки. При наведенні на Сонце верхня площадка затемнювала нижню, а прикріплені до них покажчики дозволяли відраховувати кут на шкалі більшого кола.

Якщо в центрі «полуденного кола» поставити шпичак перпендикулярно до площини кола, то тінь від шпичака падатиме на північну нижню частину проградуйованого кола. Інакше кажучи, для вимірювання зовсім немає потреби градувати усе коло, досить нанести градусні позначки на його одну четвертину. У цьому і полягає принцип роботи *квадранта*, також описаного Птолемеєм. Пливу з проградуйованою четвертиною кола встановлювали у меридіональній площині. Висоту Сонця над горизонтом опівдні вказувала тінь від шпичака, що падала на шкалу. Згодом квадрант став одним з найнадійніших кутомірних приладів. Його «укріплювали» на стіні, орієнтованій строго в напрямку з півночі на південь. Тоді ж важливими деталями квадранта стали два візири: один у центрі дуги, другий (з покажчиком) ковзав уздовж неї.

Для вимірювання екліптичних координат Місяця і зір Птолемеєм сконструював прилад *астролабон*, який з часом було названо *армілярною сферою* або *армілою* (див. далі рис. 2. 17). Важливою частиною цього приладу були два взаємно перпендикулярні і нерухомо скріплені кільця. Перше з них зображувало собою екліптику, друге – коло сонцестоянь (так званий колюр).

Усередині цих кілець розташовували рухоме кільце, що могло обертатися навколо двох штифтів, закріплених у полюсах екліптики. Кут відхилення цього кільця (довгота) відраховували уздовж кола екліптики. По внутрішньому боці рухомого кільця ковзало щільно допасоване і проградуйоване «коло широти», на якому було прикріплено два візири. За їхньою допомогою кільця довгот і широт орієнтували на задане небесне світило.

Для вимірювання висоти Місяця над горизонтом (або, що те саме, його кутової відстані від зеніту) Птолемеєм використовував «*паралактичний інструмент*». Цей прилад складався з трьох рейок. Одну з них встановлювали вертикально. На другій, яку одним кінцем

закріплювали у верхній частині першої рейки (рис. 2. 16), було встановлено два візирі, за допомогою яких цю рейку наводили на

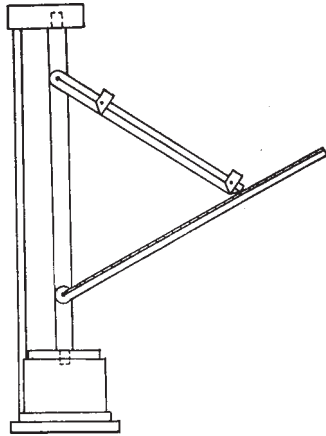


Рис. 2. 16. Прилад з трьох рейок для вимірювання зенітних відстаней світил («трикветрум»).

Місяць. На третій рейці, закріпленій одним кінцем в нижній частині першої рейки, наносили шкалу, по якій і відраховували величину хорди кута, що відповідав зенітній відстані Місяця. Згодом цей інструмент широко використовували астрономи Західної Європи, називаючи його *трикветрум*.

МЕТОДИКА СПОСТЕРЕЖЕНЬ. Оскільки, як вже згадано вище, Птолемея було звинувачено в тому, що він не проводив спостережень (принаймні тих, які були необхідні для укладання зоряного каталога), то на основі тексту «Альмагеста» було проаналізовано методику його спостережень. Детально з'ясував її М. Ю. Шевченко (1988). Основні його висновки такі.

Передовсім ще раз – про інструмент, яким проводили спостереження. Він складався з семи концентричних кіл (рис. 2.17). Коло 1 – інструментальна екліптика, 2 – колір сонцестоянь, який закріплювали у полюсах світу до небесного меридіана – 3. Коло 3 могло зміщуватися по внутрішній поверхні зовнішнього нерухомого кола 4, що дозволяло змінювати нахил полярної осі інструмента. Ще три кола відповідали колам широти, їх використовували для наведення на світила. Одне з них, зовнішнє – 5, розташовували між колами 1 і 2 та небесним меридіаном 3 і використовували для візування опорного світила. За допомогою спарених кілець 6 і 7 визначали положення досліджуваного світила. Їх встановлювали всередині кіл 1 та 2 на спільній з колом 5 осі. Коло 7 мало в діаметрально протилежних точках візирні пристосування, пересувалося воно по внутрішній поверхні кола 6 (аналогічно парі кіл 3 і 4). Така будова інструмента і наявність двох проградуйованих кіл (1 і 6) дозволяли визначати екліптичні довготи і широту будь-якого світила.

З тексту «Альмагеста» можна зрозуміти, що Птолемей створював каталог зір в два етапи. Спочатку він проводив абсолютні визначення

координат яскравих опорних зір. На цій основі, відносним методом, він встановлював координати усіх інших зір, що увійшли до каталога.

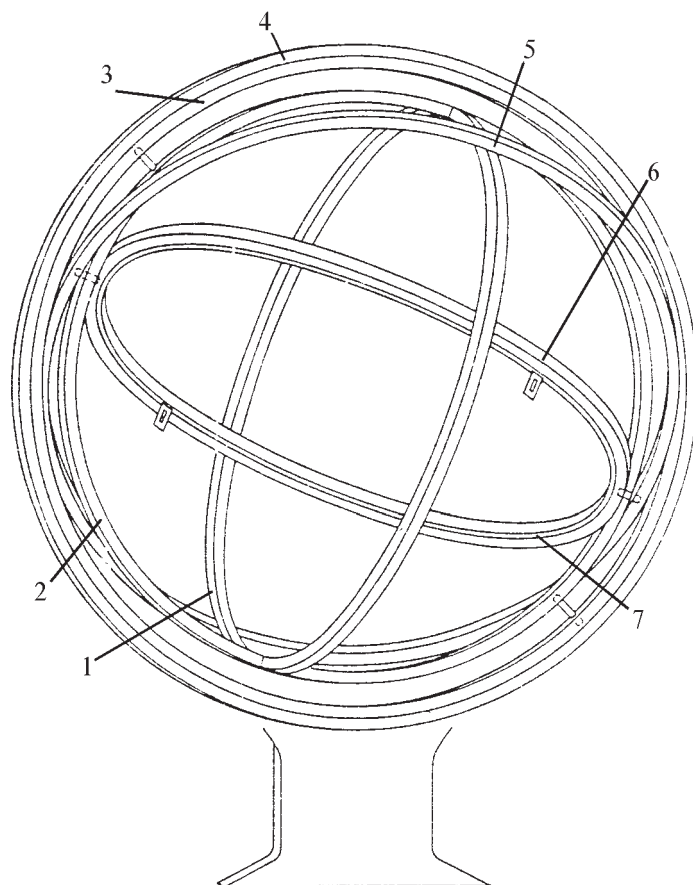


Рис. 2. 17. Армілярна сфера Птолемея (пояснення в тексті).

Для проведення абсолютних визначень координат зір інструмент необхідно було встановити в робочий стан по Сонцю і цю правильну орієнтацію зберігати до появи на небі зір, причому роль проміжного опорного світила відігравав Місяць. Загалом послідовно здійснювано такі шість операцій:

1) *Орієнтація інструмента по Сонцю.* Візирне коло 5 встановлювали на відлік кола 4, який наближено відповідав екліптичній довготі Сонця на момент спостережень. Після цього єдиним обертанням кіл 1 і 5 добивалися такого їхнього положення, коли тінь від зверненої до Сонця половини кожного кола падала на відповідну їй протилежну частину кола. При цьому інструментальна екліптика теоретично займала справжню орієнтацію в просторі, а коло з поділками вказувало справжні довготи.

2) *Прив'язка до Місяця.* Після орієнтації інструмента коло 6 за допомогою візирних пристосувань кола 7 наводили на Місяць і на колі 1 відлічували кутову відстань між колами 5 і 6, що відповідала різниці довгот Сонця і Місяця.

3) *Перерва у спостереженнях.* Перші дві операції виконували перед самим заходом Сонця, після чого очікували появи найяскравіших зір.

4) *Орієнтація інструмента за Місяцем.* Як тільки на небі з'явилася потрібна зоря, здійснювали повторну орієнтацію інструмента. Коло 5 встановлювали на відлік, що відповідає виміряній довготі Місяця, і наводили на нього так, щоб, приклавши око до кола, світило можна було спостерігати в його площині однаково як з правого, так і з лівого боку.

5) *Вимірювання положення зорі.* Після повторної орієнтації кола інструмент знову приймав належне положення у просторі, і коло 6 за допомогою візирного пристосування кола 7 наводили на задане світило та визначали кутову відстань між колами 5 і 6, що відповідала різниці довгот Місяця і спостережуваної зорі, а також широті зорі по шкалі кола 6.

6) *Визначення координат зорі.* Широту зорі визначали безпосередньо зі спостережень. Для визначення довготи використовували формулу.

$$\lambda_* = \lambda_{\odot} + \Delta\lambda_{\odot-\circlearrowright} + \Delta\lambda_{*-\odot} + \mu_{\odot} - p_{\odot}.$$

Тут λ_{\odot} – екліптична довгота Сонця на момент спостереження, $\Delta\lambda_{\odot-\circlearrowright}$ і $\Delta\lambda_{*-\odot}$ – відповідно різниця довгот Місяця і Сонця, зорі і Місяця, μ_{\odot} і p_{\odot} – відповідно поправки за власний рух і паралактичне зміщення Місяця за проміжок часу між спостереженнями. Величини $\Delta\lambda_{\odot-\circlearrowright}$ і $\Delta\lambda_{*-\odot}$ отримували безпосередньо зі спостережень, поправки μ_{\odot} і p_{\odot} – розраховували теоретично. Очевидно, Птолемеєм при спостереженнях використовував значення довготи Сонця λ_{\odot} ,

розраховане за його теорією. І, як видно, оскільки він прийняв неточну тривалість року, теоретична довгота могла бути меншою від справжньої на $\sim 1,1^\circ$. А саме такою є систематична помилка у довготах зір. Крім того, на точність спостережень впливала рефракція (при висоті Сонця $1,6^\circ$ середня рефракція $\rho = 20'$). І, нарешті, були випадкові похибки наведення як на Сонце, так і на зорю.

Ось чому питання «чи спостерігав Птолемей сам, чи використав дані своїх попередників», і на сьогодні залишено відкритим. Що стосується питання про похибки за рахунок недосконалості візирних відлікових засобів, то вони сягали в середньому близько $20'$.

При здійсненні відносних вимірів координат інструмент встановлювали в робочий стан за однією з опорних зір з уже відомими координатами, як це сказано в пункті 4, і далі коло 6 за допомогою візирних пристосувань кола 7 наводили на зорю. Зі шкал кіл 1 і 6 відчитували довготу і широту зорі відповідно.

Розділ 8. КОНТРАСТИ СЕРЕДНЬОВІЧЧЯ

Після захопливого розквіту античної культури на європейському континенті настав тривалий період застою і навіть регресу – проміжок часу понад 1000 років, який прийнято називати середньовіччям. Йому передував поділ Римської імперії на Західну і Східну (395 р.) та загибель Західної імперії після розгрому Рима північним племенем скирів (476 р.). І за ці близько 1000 років не здійснено жодного істотного астрономічного відкриття, а в поглядах на закони світобудови подекуди навіть зроблено крок назад...

Як зауважив Б. І. Спаський в «Історії фізики» (1956), «разом з розкладом і загибеллю рабовласницького ладу розкладаються і гинуть антична наука та культура..., життя відійшло на село... Життя усіх феодалів аж до самого короля проходило у простій грубій обстановці. Серед найвищих верств суспільства панувало грубе нещасття. Самим феодалам грамотність не була потрібна, і більшість не вміла навіть підписати свого прізвища. Єдиними вогнищами грамотності були монастирі і церкви...»

У Східній (Візантійській) імперії, що проіснувала ще ціле тисячоліття, аж до 1453 р., ця криза не була виявлена так чітко. Але і тут особливості феодального життя з його замкненістю і нещасттям призвели до того, що прямі спадкоємці культури давніх греків

подекуди повернулися до найпримітивніших уявлень про закони світобудови.

Цьому занепаду науки і, зокрема, природознавства певним чином сприяло також поширення християнства, яке з 313 р. стало в Римській імперії державною релігією. Наприклад, ранньохристиянський церковний історик Євсевій (бл. 263 – бл. 340) висловився про вчених-«язичників» так: «Ми так низько цінимо те, чим вони захоплюються, зовсім не через незнання предмета, але тому, що ми зневажаємо їх марну працю, звертаючи наші душі до предметів більш піднесених». У цей час (і особливо на Сході з його підвищеною схильністю до містики) усі зусилля християн мали спрямовуватися на підготовку до потойбічного життя...

§ 1. ВІЗАНТІЙСЬКА КОСМОЛОГІЯ

АЛЕКСАНДРІЙСЬКЕ ВОГНИЩЕ. Набираючи силу, християнство боролось з давньогрецькою наукою і філософією як небезпечними напрямками, що породжують ересь. Як приклад ставлення християнства до науки «у сконцентрованому вигляді» наводять слова християнського богослова з Карфагена Тертуліана (бл. 160 – бл. 220). Поставивши питання «Що є спільного у філософа з християнином, в учня Греції з учнем неба?» і «Що спільного між Афінами та Єрусалимом, між Академією і церквою?», він відповів на це так: «Нам після Христа не потрібна ніяка жадоба до знання, після євангелія не потрібно ніякого дослідження».

І все ж необхідно визнати, що серед ранніх християнських теологів-учених перших трьох століть були мислителі, які намагалися сумістити релігійні догми з античною натурфілософією та наукою. Ось чому під впливом цієї філософії і науки, особливо в Александрії, окремі представники александрійської богословської школи висловлювали твердження про численність заселених світів, про кулястість Землі тощо. Таким був, зокрема, богослов-теоретик Оріген (185–254), який дотримувався погляду, що Земля є одним з мільйонів подібних їй світів, що Всесвіт час від часу оновлюється руйнуванням і зародженням матеріальних світів.

Міркував він так: «Якщо Всесвіт має початок, то чим проявлялася діяльність Бога до створення світу? Грішно і разом з тим безглуздо було б думати, що божественна Сутність перебувала у спокої і

бездіяльності і був час, коли її благість не проливалася ні на одну істоту, а всемогутність її нічим не проявлялася. Допускаю, що єретик не легко відповість на це. Що стосується мене, то скажу, що Бог приступив до своєї діяльності не в той час, коли був створений наш видимий світ, і так само, як після скінчення останнього виникне інший світ, так і до початку Всесвіту існував інший Всесвіт... Отже, слід покладати, що не тільки існує одночасно багато світів, але й до початку нашого Всесвіту існувало багато всесвітів, а по закінченні його будуть існувати інші світи».

Варте уваги, що як Оріген, так і Климент Александрійський (пом. бл. 217 р.) відстоювали символічне розуміння слів Біблії про створення світу. Оріген писав: «Яка людина, обдарована здоровим глуздом, буде думати, що міг бути перший, другий, третій день, вечір і ранок без Сонця, без Місяця і без зір...». Згодом, однак, Орігена змусили залишити Александрію та виїхати у Палестину, де він при гоніннях на християн помер від тортур у тюрмі.

Безперечно, певне зацікавлення астрономією в Римській імперії перед її крахом зберігалося з огляду на тодішнє захоплення астрологією. Так, в Александрії у 146 р. до 60-річчя імператора Антоніна Пія було навіть випущено 12 мідних монет з зображеннями сузір'їв Зодіаку сумісно з міфологічними зображеннями семи планет. У м. Помпеї знайдено зображення семи богів – «опікунів» днів тижня.

У III–IV ст. християнство здолало могутнього конкурента – неоплатонізм, останню школу антично-елліністичної натурфілософії, яку розвивав, зокрема, Плотин (203–269). І ця боротьба набувала іноді найдикіших форм. Так, імператор Валент у 373 р. наказав спалити всі нехристиянські книги. Тоді то, зокрема, в 391 р. , за намовою архієпископа Феофіла в Александрії натовп розгромив книгосховище «Серапійон», що було при храмі бога Серапіса. У 415 р. там же натовп фанатиків-християн убив першу відому в історії науки жінку-математика, астронома і філософа Гіпатію (бл. 370–415), яка з 390 р. в Александрійському Музеумі читала лекції з філософії, математики та астрономії. У 475 р. розгромлено і спалено багату бібліотеку в Константинополі. В Римі за наказом папи Григорія I (590–604) спалено бібліотеку при храмі Аполлона Палатинського, в якій зберігали рідкісні рукописи багатьох давніх філософів...

Варте уваги, що в Александрії ж математик Теон Молодший (батько Гіпатії), коментатор «Альмагеста», створив теорію трепидації, за якою прецесійне зміщення точки весняного рівнодення – це не рівномірний поступальний, а циклічний рух: з пересуванням на декілька градусів вперед, зупинками і зворотним рухом. Звичайно, «винуватцем» тут був Птолемей, точніше – низька точність його спостережень як нерухомих зір, так і Сонця...

«Рецидив дитячості». Образно кажучи, уявлення про плоску Землю зародилося за епохи дитинства людства. І сталося це цілком закономірно. Та вище було проілюстровано те, як грецькі філософи зуміли подати наукові докази того, що Земля є кулею, зуміли встановити її розміри, встановити (хай і неточно) відстані до Місяця і Сонця. Так за декілька століть до нашої ери було закладено фундамент науки про Всесвіт.

Але ось нові покоління людей, охоплені релігійним фанатизмом, без будь-якого жалю розтягують риштовання, розвалюють почате будівництво. У духовному житті людства проглядає рецидив дитячості...

Зокрема, на багато років (чи не до IX ст.) були «воскрешені» уявлення про плоску Землю. Так, християнський письменник і теолог Люцій Целій Фірман, названий Лактанцієм (бл. 250 – бл. 320), у трактаті «Про фальшиву мудрість» висміює давніх філософів, які стверджували, що Земля має форму кулі. Ось як «переконливо» звучать його докази: «Що сказати про людей, які допускають існування антиподів і які розміщують якихось людей під нашими ногами. Чи можна бути настільки обмеженим, щоб думати, нібито є люди, в яких ноги вище голови, що існують країни, де все стоїть уверх дном, де плоди висять знизу вгору, верхівки дерев звисають вниз, дощ, сніг і град падають знизу вгору... Подібні помилки трапляються в людей, які допускають, що Земля кругла».

Константинопольський єпископ Іоанн Золотоустий (бл. 347–407) повторював ті самі погляди, кажучи, що він готовий вступити у змагання з кожним, хто наслідують твердити, що Земля кругла і що вона не подібна на палатку або на шатро.

Заради справедливості слід відмітити, що водночас деякі з Отців Церкви дотримувалися протилежних поглядів. Так, сучасник Іоанна Золотоустого Василій, єпископ Кесарійський (бл. 330–379), у своїх

«Бесідах на Шестоднев» правильно пояснює зміну фаз Місяця, Сонце ж у нього «велике і до безконечності більше, ніж яким воно нам здається». Знає він і причину припливів та відпливів: «Зі змінами Місяця згідні... зворотні течії євріпів, приплив і відплив в... океані..., що в точності узгоджені з часом місячних колообертів». А ось його розмірковування про форму Землі: «Ті, хто писав про світ..., розмірковували, що вона... куля... Але я не погоджуся визнати нашу розповідь про світотворення вартим меншої поваги лише тому, що раб Божий Мойсей не розмірковував про фігури, не сказав, що коло Землі має 130 000 стадіїв, не виміряв, на скільки простягається... земна тінь... і як ця тінь, падаючи на Місяць, створює затемнення». Однак, думаючи, як і Тертуліан та Євсевій про потреби людської душі, Василій зауважив: «Нас не цікавить, чи є Земля кулею, циліндром або ж диском, чи, може, вона вгнута посередині подібно віялу...»

У 535 р. александрійський чернець Косма Індікоплевст, який раніше був купцем і мандрівником та побував в Індії, написав твір «Християнська топографія Всесвіту, заснована на свідченнях Святого Письма, у якому християнам не можна сумніватися». У цій книжці Косма стверджує, що «не можна вірити світській науці, яка вважає, нібито за допомогою розуму можна досягнути всесвіту», висміює думку про кулястість Землі і пропонує власну модель світу: «Ми скажемо разом з пророком Ісаєю, що небо має форму склепіння; разом з Іовом скажемо, що воно з'єднане з Землею, а разом з Мойсеєм, що Земля більша у довжину ніж у ширину».

За Космою, Земля має форму прямокутника, в якого більші сторони удвічі довші від малих і посередині якого стоїть місто Єрусалим. За океаном, що оточує Землю, міститься ще один материк, у східній частині якого був колись земний рай. Небесне склепіння підтримується чотирма прямовисними стінами (рис. 2.18). На півночі Землі височить величезна гора, за яку й заходять Сонце, Місяць і зорі на певну частину доби. «Усі світила, каже він, – створені для того, щоб керувати днями і ночами, місяцями і роками, і рухаються не внаслідок руху неба, але під дією божественних сил і світоносців. Бог створив ангелів, щоб вони йому служили, і одним наказав рухати повітря, іншим – Сонце, третім – Місяць, четвертим – зорі, деяким велів згромаджувати хмари і готувати дощ». Що ж, найвішнього уявлення і не придумаш...

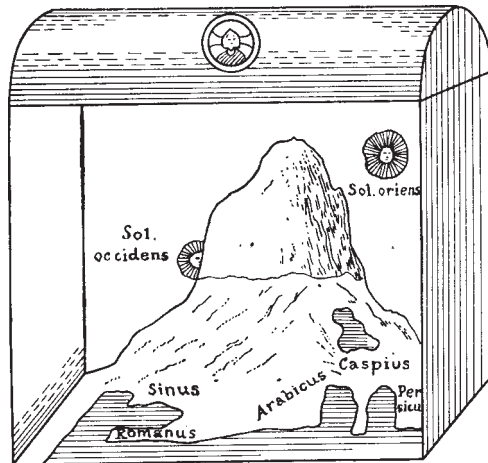


Рис. 2. 18. Будова світу за Космою Індікоплевстом.

ВІЗАНТІЙСЬКА КОСМОЛОГІЯ. Звичайно, в 1000-річній історії Візантії система Косми Індікоплевста аж ніяк не була «найголовнішим надбанням» у царині астрономічних уявлень. Біда, однак, у тому, що візантійська наука взагалі і астрономічні та космологічні погляди кінця першого й початку другого тисячоліття поки що вивчені вкрай недостатньо. Якщо ж приглянутися до них уважніше, то цілком може виявитися, що «Християнська топографія» була так широко поширена не з огляду на її уявлення про світобудову, а виключно завдяки «живої зацікавленості середньовічного читача до яскравих мініатюр, що прикрашували найдавніші копії цього твору» (Н. К. Гаврюшин, 1983). Але і тут доводиться жалкувати за тим, що багато документів і творів візантійських авторів безповоротно втрачено у вогні, коли «воїнство» четвертого хрестового походу (1204 р.) захопило Константинополь...

Відомо, однак, що в першій половині VIII ст. відомий богослов Іоанн Дамаскін (680–760) створив енциклопедичну працю «Джерело знання», в якій було дано систематичний виклад філософсько-логічних понять, космологічних, психологічних та інших відомостей на підставі кращих творів античних та александрійських вчених. Дамаскін ігнорував «Топографію» Косми. У нього Земля – куля, і оточена вона трьома небесами: перше, найвище і нерухоме – емпірейське, друге – кришталеве, третє – твердь, яка ділиться на пояс нерухомих

зір і пояс планет. Планетне ж небо ділиться на сім кіл за числом планет.

Відомо також, що візантійський патріарх Фотій (бл. 820 – бл. 891) назвав домисли Косми «безглуздями», вважаючи кулястість Землі доведеною. При Фотії була створена перша бібліографічна збірка середньовіччя – «Бібліотека Фотія», а дещо пізніше (бл. 1000 р.) – широко відомий енциклопедичний словник «Лексикон Свіди».

Велике зацікавлення астрономією та астрологією виявив Лев Математик (805–870), вірменин за походженням, який 840–843 рр. був митрополитом м. Фессалоніки. Цей видатний візантійський філософ і вчений був одним із фундаторів світського напрямку у візантійській науці. Після реорганізації Константинопольського університету Лев Математик 863 р. був призначений його ректором і професором філософії та математики. Він відомий ще й тим, що конструював птахів, які співали, і львів, що рикали... Не виключено, що Льву Математику (чи, як його ще звали, – Філософу) був відомий «Альмагест», адже дотепер є декілька копій цього твору, зроблених якраз у IX ст. Твори ж самого Льва Математика не збереглися.

На XI ст. припадають роки життя і творчості видатного візантійського письменника Михаїла Пселла (1013 – бл. 1097) і його сучасника, вченого-енциклопедиста, який виконував обов'язки головного церемоніймейстера імператорського двору Симеона Сета (Сира). У їх творах наведено докази кулястості Землі (відомі з часів Аристотеля), довжину кола Землі – 250 000 стадіїв, відношення радіусів Сонця, Землі і Місяця «згідно з найдосвідченішим в астрономії Аристархом», відомості про точки і лінії небесної сфери, про зміну пір року, про місячні та сонячні затемнення – «згідно мудрійшому Птолемею». Що ж стосується природи комет, Сонця і зір, то тут згадані автори повторюють уявлення Аристотеля. Привертає, однак, увагу те, що Симеон Сет відкинув вчення про одушевленність світил, яке було поширеним серед грецьких натурфілософів, підкреслюючи, що «рух їх є фізичним, а не психічним».

Окремої згадки заслуговують імена видатного християнського богослова Августина Аврелія (354–430) і фізика-механіка, коментатора природничонаукових праць Аристотеля Іоанна Філопона, тобто «Працелюба», що жив у VI ст. Перший з них спробував переосмислити поняття часу. Задавши питання: «Бачучи, отже, що Бог,

вічність якого незмінна, створив світ і час, як можна говорити, що він створив світ у часі, коли ви лишень не хочете сказати, що було щось створене перед світом, котре стало передумовою світу?» Августин формулює відповідь так: «Істинно, світ був створений з часом, а не в часі, бо те, що створене в часі, існує до деякого часу і після деякого часу».

Іоанн Філопон фактично став попередником Галілея в механіці. Критикуючи Аристотеля, він відкинув, як абсурдне, твердження, нібито повітря підтримує рух стріли, що летить. Філопон правильно вказав, що середовище може лише зменшувати швидкість тіла. Приклад руху без опору навколишнього середовища для нього – рух небесних тіл. Філопон вперше висловив ідею, що кинутому тілу джерело руху надає певну внутрішню силу, яка підтримує його рух і визначає його швидкість.

Що прийшло у Русь. Загально визнано, що до прийняття християнства наші предки виробили свою певну систему місячно-сонячного календаря з початком року весною. Очевидно, були певні елементи так званої фольклорної астрономії. Завдяки тісним зв'язкам з Візантією, сюди прийшли різні варіанти «Шестодневів», «Толкова Палля» тощо, в яких дещо у спотвореному вигляді були викладені погляди Аристотеля. Водночас ширилася і праця Косми Індікоплевста.

Центрами освіти, як і в інших країнах Європи того часу, в Україні були монастирі. Тут вели реєстрацію подій у літописах, причому записано багато астрономічних явищ – затемнень, появи комет (наприклад, 1066 р.), а в «Слові о полку Ігоревім» (1185 р.) зафіксовано спостереження протуберанця під час повного сонячного затемнення.

Водночас є багато свідчень того, що церква, поборюючи астрологію, як «науку диявольську, що претендує на передбачення подій незалежно від Божої волі», посилювала гоніння і на «остронумею» – астрономію, яку представники церкви не дуже то відрізняли від астрології.

§ 2. Астрономія в Індії та Китаї

Астрономія та натурфілософія Індії. В перші століття н. е. індійські вчені створили *сіддханті* (букв. – «розв'язки», «остаточні твердження») – твори фізико-математичного змісту, своєрідні курси теоретичної астрономії. Зокрема, в одній із п'яти відомих – у

«Вашиштха-сіддханті» – описано методи визначення середньої тривалості дня (за допомогою гномона), положення екліптики – її висоти над горизонтом (за довжиною полуденної тіні гномона в моменти сонцестояння). Наведено довжини тропічного і зоряного років, а також синодичні періоди руху п'яти відомих тоді планет.

П'ята сіддханта – «Сур'я-сіддханта» (за одним з імен бога Сонця – Сур'я) – була своєрідним індійським варіантом «Альмагеста». У її 14 частинах вміщено опис руху і положень п'яти планет, місячних та сонячних затемнень, методи «знаходження однакового положення світил і сузір'їв» (очевидно, тих, що ритмічно повторюються), описано астрономічні прилади та інструменти.

Своєрідною енциклопедією астрономічних знань стала книга індійського математика Аріабхати (бл. 476 – бл. 550), що мала назву «Аріабхатія».

Написано її у віршованій формі, у VIII ст., її перекладено арабською мовою. В «Аріабхатії» подано правила обчислення різних величин сферичної та практичної астрономії, вказано, що «Земля розташована в центрі Всесвіту», що «нижче від сузір'їв є Сатурн, Юпітер, Марс, Сонце, Венера, Меркурій і Місяць, а нижче від них – Земля, яка перебуває у центрі Всесвіту». У формі словесних тверджень-«правил» коротко описано рух планет (за допомогою ексцентриків та епіциклів). Водночас, визнаючи, як і Птолемей, Землю центром Всесвіту, Аріабхата допускав (хоча і в нечіткій формі) її добове обертання.

Очевидно, ця думка мала певний резонанс серед індійських вчених. Бо дещо пізніше математик, астроном і філософ Брахмагупта (598–?) у своїй праці «Брахмаспхута-сіддханта» (628 р.) критикував Аріабхату: «Послідовники Аріабхати кажуть, що Земля рухається, а небо перебуває у спокої. Але в їхніх запереченнях сказано, що коли б це було так, то камені і дерева впали б із Землі». Мовляв, ідея обертання Землі порушила б гармонію неба, бо не могла б узгодитися з видимим рухом зоряного неба.

Заслугове уваги текст Брахмагупти, що стосується пояснення затемнень: «Серед людей є такі, які думають, нібито затемнення не спричиняються Головою (в індійській міфології – це голова дракона Раху, який на бенкеті йогів «не по чину» приклався до чаші з напоєм безсмертя; то ж хоча голову йому відрубали за це, вона, просякнута

цим напоєм, вже безсмертна і дуже при цьому агресивна – *I. К.*). Це абсурдна думка, бо це вона спричиняє затемнення, і більшість людей світу кажуть, що саме вона спричиняє їх. У Ведах, які є слово боже, з уст Брахми мовиться, що Голова спричиняє затемнення. Всупереч цьому, Аріабхата, ідучи наперекір усім, твердить, що затемнення спричиняється не Головою, а лише Місяцем і тінню Землі... Ці автори повинні припинити свій опір більшості, бо все, що є у Ведах, в «Смриті» та в «Самхітах», – правильне».

В натурфілософії середньовічної Індії співіснували ідеалістичні погляди упанішад і матеріалістичні філософські вчення локаята (пізніше чарвака) і санх'я. Чарваки вчили про вічність Всесвіту, про виникнення всіх речей з елементів шляхом їх поєднання у різних комбінаціях при збереженні одної і тої ж матеріальної основи. Аналогічно санх'я стверджувала, що весь світ і живі істоти виникають в процесі трансформації «практиті» (першоматерії). Згідно вчення джайнізму, матеріальні сутності складаються з атомів (ану) і молекул (скандха).

Однак особливої уваги заслуговують здобутки індійських вчених в розвитку математичного апарату астрономії, зокрема тригонометрії. Аріабхата один із перших увів функцію синус та застосував її в астрономії. Брахмагупта ввів від'ємні числа. Сприяло розвитку точних наук уведення економної індійської позиційної системи запису чисел у десятковій системі лічби замість громіздкої (буквеної) грецької (див. А. Й. Єремєєва та Ф. О. Цицин).

Астрономія в Китаї. Дослідники відзначають, що на початку н. е. в Китаї трапився загальний занепад наукової діяльності, що було пов'язане з розпадом єдиної держави та нашествям чужинців. І, навпаки, у VI–X ст. настав новий період розквіту науки і культури. Зокрема, з VII ст. тут уже друкували книги, створено «Палату вчених» (прообраз академії наук), згодом створено установу типу астрономічного інституту. Її співробітники проводили астрономічні спостереження, передбачували затемнення, складали календарі, визначали «щасливі дні» для державних справ і церемоній. З цією метою конструювали різноманітні інструменти і прилади – армілярні сфери, секстанти і квадранти, сонячні та водяні годинники, глобуси тощо.

В цей період зроблено ряд відкриттів. Так, у IV ст. астроном Юй Сі незалежно відкрив прецесію в 1° за 50 років, у VII ст. Лю Чжо

уточнив її: 1° за 75 років. З високою точністю встановлено драконічний період обертання Місяця, сидеричний період обертання Юпітера тощо. Є підстави стверджувати, що астроном І Синь (683–727) виявив власні рухи зір, порівнявши зроблені ним виміри положень зір у Стрільці з попередніми, що астроном Шень Ко (1031–1095), досліджуючи нерівномірність руху Сонця по екліптиці, нібито вказав, що його орбіта має форму еліпса.

Особливе місце в китайській астрономії продовжувала займати служба нових зір та комет («зір-мітел»). За наявними даними, з X по XVII ст. тут відмічено 12 випадків появи нових, серед них – знаменита «зоря-гостя», що спалахнула на небі 28 червня 1054 р. і залишалася видимою до 1056 р. (її залишок – пульсар і Крабоподібна туманність, в якій він знаходиться). Китайські астрономи неодноразово спостерігали об'єкт, що згодом отримав назву комети Галлея.

Що ж стосується розуміння основних принципів будови і розвитку світу, то, як зауважують дослідники, в Китаї існували два рівні. З одного боку, на небо переносили принципи будови китайської бюрократичної держави: імператора вважали «сином неба», Місяць – «важливим чиновником», комети – «кур'єрами». Земля має форму перевернутого блюдця, над нею повисає так же опукле небо. Сонце, Місяць і планети уподібнювали до мурашок, що повільно повзуть в бік, зворотний обертанню неба.

Водночас співіснувала й інша система поглядів на світ. У ній Сонце, Місяць і планети – кулястої форми, вони вільно плавають в порожнечі безмежного світового простору. Було припущення, за яким і Земля також рухається, однак ми цього не зауважуємо, бо рухаємося разом з нею. Взагалі – людське око не в змозі охопити Всесвіт, а розум збагнути його.

Привертає увагу текст-пояснення зоряної карти, висіченої на камені в храмі Конфуція поблизу Шанхая (XIII ст.): «В давнину люди не знали, що являють собою небо і Земля. Небо і Земля спочатку були великою туманністю, з якої виділялися важкі і легкі речовини. Легкі утворили небо, важкі – Землю. Всі небесні явища мають свої природні закони розвитку... Конкретним проявом дії цих законів є утворення Сонця, Місяця, п'яти планет. ...В утворенні їх є стала закономірність. Ця закономірність узгоджується із законом існування людства».

Вартими уваги є ідеї філософа Чжан Цзая (1020–1077): в основі всього лежить матеріальна субстанція «ци», існування якої може проявлятися в різних формах. Ця субстанція розпилена у безконечному просторі і невидима. Згущуючись з часом, її частинки утворюють туманну масу «тайхе» («Велику гармонію»). В тайхе частинки ци діляться на позитивні та негативні. Від їхньої взаємодії виникає природа і всі предмети.

§ 3. АСТРОНОМІЯ КРАЇН ІСЛАМУ

«Зіджі» АРАБСЬКИХ АСТРОНОМІВ. Здавна Аравійський півострів заселяли племена, які з часом отримали назву арабів. Об'єднані новою релігією – ісламом, яку створив Мухаммед (бл. 570–632), араби з середини VII ст. розпочали захоплення навколишніх територій. Протягом ста років вони завоювали Сирію, Іран, Єгипет, Північну Африку, Піренейський півострів і Середню Азію. Спочатку завойовники знищували пам'ятники науки і культури підкорених народів. Проте дуже швидко становище змінилося: вони почали засвоювати місцеву культуру, а столиця арабської держави Багдад стала центром наукової діяльності. Зокрема, тут уже в 829 р. (а дещо пізніше – і в інших містах) збудовано астрономічну обсерваторію.

В країнах ісламу засновані університети: 755 р. – в Кордові, 795 р. – в Багдаді, 972 р. – в Каїрі. Загалом арабська культура продовжувала розвиватися і після розпаду халіфату на окремі держави.

Як виглядає, хоча в руки арабів потрапили скарби античної та елліністичної (александрійської) культури й науки, знайомитися з цими скарбами вони почали не зразу і, головним чином, через Індію. Один з перших багдадських халіфів аль-Мансур згуртував учених з Європи та з Індії і за його наказом в останній чверті VIII ст. перекладено на арабську мову індійські сіддханти Брахмагупти і Аріабхати. У IX ст. арабський учений Сабіт ібн Курра (826–901) здійснив повний переклад «Альмагеста» з грецького оригіналу.

Невдовзі з'явилися «Зіджі» – оригінальні праці ісламських астрономів, складені на підставі спостережень, проведених у великих обсерваторіях (усього таких творів збереглося близько ста). Це були астрономічні таблиці, користуючись якими можна розрахувати положення планет на зоряному небі. Обов'язкова складова частина зіджа – зведення правил, використаних при складанні таблиць,

і правила користування ними. Порядок розміщення матеріалу і тип таблиць в усіх зіджах однаковий: 1) про календарі, 2) про рух планет, 3) про встановлення часу і 4) «про решту знань» (про астрологію). Усього астрономи країн ісламу створили декілька тисяч зіджив, підручників, коментарів до зіджив і просто трактатів з астрономії. У зіджі вміщали також каталог зір.

На початок IX ст. великих успіхів добилися астрономи Багдада та Дамаска. Так, 827 р. в долині Сennaар (Месопотамія) ними за допомогою вимірювального шнура виміряно дугу меридіана, а спостереження зенітних відстаней зір за методом Ератосфена не кінцях дуги меридіана дали змогу встановити його протяжність у 40 700 км (в сучасних одиницях). Тоді ж за вимірюванням довготи Регула після порівняння результатів з даними Гіппарха отримано нове значення сталої прецесії: 1° за 66 років. Арабські астрономи також виявили, що кут нахилу екліптики до екватора дещо менший, ніж це давав Птолемей ($23,58^\circ$ проти $23,86^\circ$). Було виявлено, що апогей сонячної орбіти змістився порівняно з даними «Альмагеста». Імена цих астрономів, які почали свою роботу в часи правління халіфа аль-Маммуна (813–833), не збереглися. Відомо лише ім'я одного з перших перекладачів праці Птолемея на арабську мову. Ним був Ібн Юсуф (786–833). Це він назвав книгу «Китаб аль-маджісті» – «Найвеличніший твір», звідки і постала звична для нас назва «Альмагест».

А ось декілька астрономів, що працювали в Багдаді в другій половині IX ст., невдовзі стали відомими і в Європі. Один з них, Ахмед аль-Фаргані – Альфраганус, автор «Елементів астрології...» Далі, Сабіт ібн Курра до восьми сфер Птолемея додав дев'яту – «першодвигун», він, як згадано, кваліфіковано переклав «Альмагест» з грецької (перед цим Ібн Юсуф перекладав із сирійської мови). Сабіт ібн Курра виклав результати своїх визначень параметрів орбіти Сонця, навів нове значення прецесії – $49,65''$ за рік або 1° за 72,5 року. З аналізу спостережень Гіппарха і Птолемея Ібн Курра вперше зробив висновок, що спостереження Птолемея, які стосуються видимого руху Сонця, проведені з низькою точністю. Багато зусиль він доклав до того, щоб розробити нову теорію трепидації, в якій прецесійний рух не є рівномірним, а є періодичним коливальним рухом з амплітудою 4° і періодом в 4000 років.

Дуже популярними в Західній Європі стали праці Абу Абдаллаха Мухаммада ібн Джабір аль-Баттані. Цей учений з високою точністю визначив тривалість тропічного року (365,24056 доби проти 365,24667 доби в Гіпарха), величину ексцентриситету сонячної орбіти, відкрив зміщення сонячного апогею відносно зір. Його «Астрономічні таблиці», де вміщено і координати 533 зір, перевидано в Нюрнберзі (1537 р.) та в Болоньї (1645 р.). Аль-Баттані стверджував, що наука зір йде зразу за релігією, оскільки є найбагатішою та найдосконалішою з наук, прикрашаючою розум і формуючою інтелект...

Шедевром середньовічної спостережницької астрономії названо «Книгу нерухомих зір» видатного астронома Абд ар-Рахмана ас-Суфі (903–986). На матеріалі власних спостережень ас-Суфі (це ім'я означає «мудрець») перевіряв та уточнив каталог зір Птолемея, виправив помилки, допущені його арабськими попередниками; вказані в каталозі ас-Суфі зоряні величини зір були результатом його власних спостережень. У «Книзі» ас-Суфі детально й систематично виклав відомості про давньоарабську астрономію, передав назви сузір'їв і зір, що їх використовували араби доісламського періоду, зокрема 28 «зупинок Місяця» (маназил), за якими вони визначали положення Місяця на небі на будь-який день місяця. Для полегшення ототожнення зір книга ас-Суфі була добре ілюстрована.

Заслуговує уваги праця астронома Абу-л-Вафа (940–998), який виявив у русі Місяця ще одну нерівність, згодом названу *варіацією*.

Початки сферичної тригонометрії. У XIII розділі Першої книги «Альмагеста» Птолемея навів докази декількох теорем плоскої та сферичної тригонометрії. Серед них – теорема для «повного чотирикутника» $ABCD$, що відома як **теорема Менелая** (рис 2. 19):

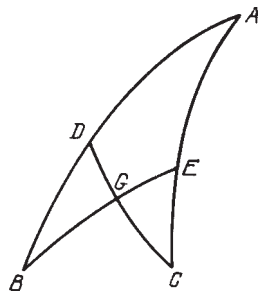


Рис. 2. 19. Чотирикутник, для якого була відома теорема Менелая, що її широко використовував Птолемей.

$$\frac{\text{хорда } (2 CE)}{\text{хорда } (2 AE)} = \frac{\text{хорда } (2 CG)}{\text{хорда } (2 DG)} \cdot \frac{\text{хорда } (2 DB)}{\text{хорда } (2 AB)}$$
 причому всі сторони чотирикутника є дугами великих кіл. Головним чином на основі цього співвідношення Птолемей і проводив усі свої обчислення. Згодом індійські математики замінили хорди синусами, і теорема Менелая набула вигляду:

$$\frac{\sin CE}{\sin AE} = \frac{\sin CG}{\sin DG} \cdot \frac{\sin DB}{\sin AB}$$

Уродженець Хорезма, який тривалий час проживав у Багдаді, Мухаммад ібн Муса аль-Хорезмі (бл. 783 – після 847), автор твору (847 р.) «Китаб аль-джабр ва-л-мукабала» («Книга протиставлення і відновлення», тобто перенесення від'ємного члена з одної частини рівняння в іншу і зведення подібних; звідси «алгебра»), вперше в математиці країн ісламу використав тригонометричну функцію синус і склав таблиці синусів через 1° аргумента. Ал-Хабашу ал-Хасибу, який працював разом з аль-Хорезмі в Багдаді, вже були відомі функції тангенс («перша», або «обернена», тінь – оскільки функція явно входить у задачу про довжину тині гномона) і котангенс («друга» або «плоска» тінь), він же увів і поняття косеканса («діаметра тині» – гіпотенузи прямокутного трикутника, катетами якого є висота гномона і довжина тині).

І, нарешті, незалежно трьома ученими була доведена теорема синусів. Для сферичного трикутника ABC зі сторонами a, b, c , що лежать відповідно напроти кутів A, B, C :

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c}$$

Суперечку про пріоритет тут довго вели Ібн-Ірак (бл. 961 – бл. 1036), Абу-л-Вафа та Абу Махмуд ал-Худжанді (пом. бл. 1000 р.). Тоді ж було встановлено і теорему тангенсів

$$\operatorname{tg} b = \sin a \sin B,$$

а в цілому сформувалась сферична тригонометрія як наука про розв'язування сферичних трикутників.

Основи плоскої і сферичної тригонометрії ал-Бузджані виклав у своїй фундаментальній праці «Книга розв'язування дуг». Він склав таблиці синусів і тангенсів через кожні $10'$. В «Удосконаленому зіджі» він подав величину прецесії 1° за 70 років і 4 місяці. Його учень Ібн Юніс (950–1009), працюючи в Каїрській обсерваторії, склав «Гакемітські таблиці» – таблиці положень Сонця, Місяця і планет, які користувалися популярністю упродовж двох століть.

ПРАЦІ АБУ РАЙХАНА БІРУНІ. Видатний мислитель, справжній енциклопедист, що дивував усіх широтою своїх наукових інтересів, Абу Райхан Біруні (Беруні) народився 973 р. у передмісті м. Кят (тепер м. Біруні), на той час – столиці Хорезма, тоді значному культурному

центрі Середньої Азії. Його учителем був інший видатний хорезмієць Ібн Ірак. У 16 років Біруні вже проводив самостійні астрономічні спостереження, а у віці 21 року за допомогою сконструйованого ним самим інструмента визначив нахил екліптики до екватора: $\epsilon = 23^{\circ}33'45''$. Ще через рік він чи не вперше у світі збудував земний глобус (точніше – напівглобус) діаметром 5 м. В 995 р. Хорезм був розорений завойовниками, і Біруні, залишивши батьківщину, певний час перебував у м. Рей, недалеко від сучасного Тегерана. Близько 1004 р. він повернувся у нову столицю Хорезма Гургандж, де вів активну наукову діяльність аж до 1017 р., коли Хорезм перейшов під владу Махмуда Газнаві. Тоді-то Біруні потрапив у столицю нової держави – Газну.

Супроводжуючи Махмуда Газнаві у його поході в Індію, Біруні провів у цій країні тривалий час, вивчив санскрит і переклав на нього, зокрема, «Начала» Евкліда та «Альмагест» Птолемея, здійснив також декілька перекладів з санскриту на арабську мову. Наслідком же його перебування там була фундаментальна книга «Індія», в якій Біруні розповів про індійську історію, філософію, науку, звичаї, релігію та етнічний склад населення, зазначивши, однак, що «Махмуд знищив процвітання індійців і звершив у їхній країні такі чудеса, через які вони наче перетворилися в розвіяний» порошок...»

У 1030 р. Махмуд Газнаві помер, влада в державі перейшла до його сина Мас'уда, який правив до 1041 р. Саме тоді, з 1031 по 1037 р. Біруні створив свій «Канон Мас'уда» – справжню енциклопедію астрономії. Адже через двісті років, у XIII ст., відомий арабський географ Якут писав, що «Канон Мас'уда» стер сліди усіх книг з астрономії та математики, а його автор перевищив Птолемея.

Праці Біруні – а це 150 різних назв, з них понад 30 з астрономії – зараз в основному доступні кожному: 1-й том – «Пам'ятники минулих поколінь» – виданий у Ташкенті російською мовою ще 1957 р., 5-й том у двох частинах – «Канон Мас'уда» там же 1973 р. (ч.1) і 1976 р. (ч.2). Складається «Канон» з 11 книг. У книгах I та II Біруні детально описав календарні системи, що їх використовували різні народи, навів хронологічні таблиці. У книзі III він подав найважливіші тригонометричні теореми та їхні доведення, описав методи побудови правильних багатокутників та ін. У книзі IV викладено основи сферичної астрономії. Тут Біруні наводить значення визначеного

ним нахилу екватора до екліптики $\epsilon = 23^{\circ}34'0''$ (справжнє значення на той час було $23^{\circ}34'45''$). У книзі V є різноманітні питання геодезії та математичної географії. Зокрема, тут наведено результати Біруні щодо визначення радіуса Землі (див. нижче). Далі, у книзі VI обговорено рух Сонця, зокрема, «Про те, що апогей Сонця рухомий», і зроблено висновок, що він зміщується на 1° приблизно за 60 років. У книзі VII викладено теорію руху Місяця, у книзі VIII – теорію затемнень і окремо (це було дуже важливим для тих, хто сповідує іслам) «Про спостереження молодого місяця». У книзі IX дано відомості про нерухомі зорі, наведено каталог 1029 зір з їхніми координатами і зоряними величинами за Птолемеєм та ас-Суфі. Прецесію Біруні визначив у $54''10'''$ за рік або 1° за 69 років. У книзі X викладено теорію планетних рухів, у книзі XI – «мистецтво вироків зір», тобто елементи астрології.

В цілому «Канон Мас'уда» складений за зразком «Альмагеста» і в дусі геоцентризму. Біруні, звичайно, знав про погляди «піфагорійців» і, визнаючи у принципі можливість обертання Землі навколо осі, навіть розрахував швидкість руху точки екватора та отримав «3778 ліктів за 4 секунди години», що при довжині ліктя в 49,43 см дає 466 м/с . Напевне, це значення здалося Біруні дуже великим. Та й загальні фізичні уявлення того часу, мабуть, здавалися йому цілком сумісними з уявленням про нерухомість Землі. Принаймні в «Каноні Мас'уда» він розмірковував, виходячи з принципів геоцентризму. Але сам же Біруні згадує, що «бачив одного з видатних учених в царині астрономії, який був схильний захищати цю точку зору», тобто – про рух Землі. Можливо, це був Абу Са'їд ас-Сиджизі, в якого Біруні бачив «човникову астролябію», засновану на моделюванні обертання Землі».

Як зазначив Біруні, в його час у питанні щодо розмірів Землі були «великі розбіжності в думках». Тому «група ведучих цього мистецтва» визначила, що «на один градус... припадає $56^{2/3}$ милі». При довжині милі в – 1,973 км це дає 111,804 км на 1° дуги земного меридіана. Біруні пише: «Моїм великим бажанням було самому виконати все це... я знайшов у землі індійців гору, що вивищується над пустелею... я виміряв з вершини цієї гори [кут до лінії], де на погляд небо зустрічається з Землею... і я знайшов, що [горизонт] знижується... дещо менше, ніж на третину з чвертюградуса, і прийняв

цю величину за 34'. Я визначив висоту гори, спостерігаючи висоту її вершини з двох місць... і знайшов, що вона дорівнює 652 з половиною однієї десятої ліктя». Далі розв'язування зводиться до співвідношення

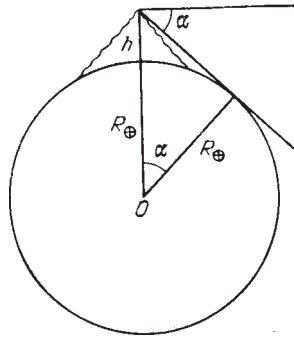


Рис. 2. 20. До визначення радіуса Землі методом вимірювання кута зниження горизонту.

$$R_{\oplus} = \frac{h \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

де h – висота гори, α – кут пониження горизонту (рис. 2. 20). Так Біруні знайшов для 1° дуги 56,1 милі = 110,685 км, радіус же Землі $R_{\oplus} = 6345$ км.

Радіуси планет і радіуси планетних сфер, за «Каноном Мас'уда» наведені в табл. 3.

Наскільки відомо, Біруні першим побудував нерухомий, (настінний) квадрант радіусом 7,5 м, на якому проводив точні (до $2'$) спостереження Сонця і планет. Упродовж 400 років цей інструмент залишався найбільшим у світі. Помер Біруні 13 грудня 1048 р.

Таблиця 3

Радіуси планет і планетних сфер за Біруні
(в одиницях радіуса Землі $R_{\oplus} = 1$)

Світило	Радіус світила	Радіус сфери	Світило	Радіус світила	Радіус сфери
Місяць	0,273	64	Марс	0,113	8 843
Меркурій	0,15	170	Юпітер	0,188	14 109
Венера	0,225	1134	Сатурн	0,125	19 696
Сонце	2,25	1233			

Тут доречно відмітити, що мусульманські астрономи надавали особливе значення питанню про точність спостережень. Іноді спостереження записували в протокол, засвідчений спільною присягою декількох астрономів та юристів. Очевидно, це робили у випадках, коли результати спостережень хотіли використати для календарних обчислень або для астрологічних передбачень.

Праці Ат-Тусі та Улугбека. У X–XI ст. значних успіхів досягли астрономи, що працювали у магометанській частині Іспанії. Відомо, що близько 970 р. у м. Кордові організовано академію з великою бібліотекою. Зокрема, астроном аз-Заркалі, відомий під іменем

Арзахеля (1029–1087), удосконалив астролябію (рис. 2. 21) та опублікував «Толедські таблиці» положень планет.

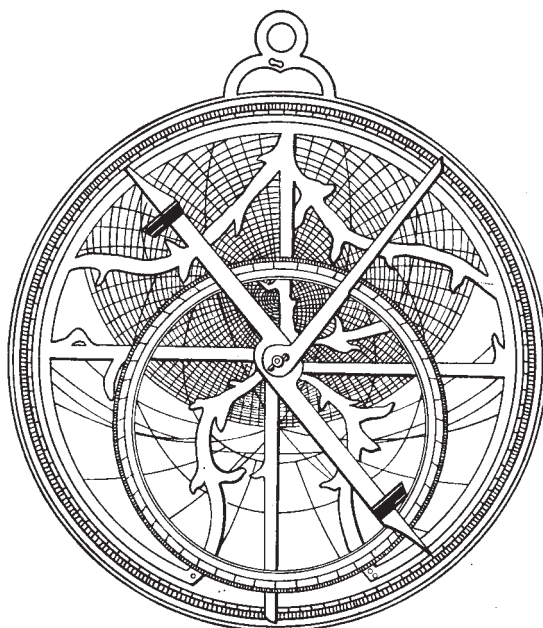


Рис. 2. 21. Астролябія.

На той час арабські астрономи вже дійшли висновку, що теорія Птолемея погано узгоджується зі спостереженнями. До того ж відомий філософ Мухаммед ібн Рушд, або Аверроес (1126–1198), і його прихильники зробили висновок, що рух навколо будь-якого центра можливий лише у випадку, якщо в центрі є якесь нерухоме тіло, а не уявна рухома точка. Єврейський учений Мозес бен Маймон, або Маймонід (1135–1204), як і марокканський астроном аль-Бітруджі (пом. бл. 1204 р.) у «Принципах астрономії», відкидали теорію епіциклів. Аль-Бітруджі намагався повернутися до ідей Евдокса, покладаючи, що всі небесні тіла обертаються навколо Землі, але рухаються вони зі сходу на захід з різними швидкостями. Найшвидше – за добу обертається сфера зір. Що ж стосується інших, то їхній рух є тим повільнішим, чію ближче до Землі розташована планета.

В середині XIII ст. більша частина Іспанії була звільнена від арабів, а бібліотека Кордови спалена. До речі, було ледве не правилом – нищити всі мусульманські бібліотеки. Так, відомо, що лише в Гранаді тоді спалено 24 000 книг...

У 1258 р. син Чингіз-хана Хулагу буквально стер з лиця землі Багдад (знову таки – спалено найцінніші рукописи), однак він невдовзі створив великий науковий центр та астрономічну обсерваторію у м. Марага (тепер – Іранський Азербайджан). Будівництво обсерваторії та спостереження на ній проводилися під керівництвом Насіреддіна ат-Тусі (1201–1274). Привертає увагу розмова між ат-Тусі та Хулагу, яка вирішила справу асигнування великих коштів (20 000 динарів) на це будівництво. Хулагу запитав: «Невже наука про зорі настільки корисна, що варто затрачати величезну суму на обсерваторії?» У відповідь ат-Тусі сказав: «Дозвольте вчинити так: нехай у цілковитій таємниці хто-небудь підніметься на цю гору і скине звідти великий порожній таз, але щоб про це ніхто не знав». Таз вчинив значний шум, серед війська розпочалася паніка. Хулагухан і ат-Тусі залишалися спокійними. Після цього ат-Тусі сказав ханові: «Ми знаємо причину шуму, а війська не знають; ми спокійні, а вони хвилюються. Так само, якщо будемо знати причини небесних явищ, ми будемо спокійні на землі...»

Серед багатьох інструментів обсерваторії, яку збудовано на висоті понад 1600 м над рівнем моря, головним був квадрант радіусом $3\frac{1}{4}$ м. Кількість співробітників обсерваторії, серед яких були видатні вчені, сягала 100. Підсумком 12-річних спостережень марагінських астрономів став «Зідж Ільхані» – «Ільханські таблиці», які використовували згодом упродовж багатьох років для складання щорічних календарів. Тут же було дано найточніше значення прецесії – $51,4''$ за рік.

З усього сказаного раніше про систему світу Птолемея видно, що її творець відійшов від основного принципу, «заповіданого» Платоном, – принципу рівномірних колових рухів. Бо ж рух «середньої планети» по деференту не є рівномірним. Труднощі з узгодженням проведених протягом тисячі років спостережень планет в рамках теорії Птолемея стали все очевиднішими. І тому астрономи країн ісламу – зокрема, учені марагінської обсерваторії – зробили спроби перейти до нових моделей світу. Вони, як вже було сказано, відкидали епіцикли, намагалися відродити систему гомоцентричних сфер

Евдокса. Насереддіну, однак, вдалося побудувати модель такого руху, в якому умова його рівномірності виконувалася при задовільній узгодженості з даними спостережень. Досягнуто це було знову таки певною комбінацією колових рухів. Саму ж модель її автор виклав у «Пам'ятці з астрономії».

Складовим елементом теорії є така «лема ат-Тусі». Нехай коло діаметра $OC = d$ котиться з кутовою швидкістю ω по колу більшого круга діаметра $AB = 2d$, торкаючись його зсередини і обертаючись водночас навколо власного центра з кутовою швидкістю 2ω у напрямі, протилежному напрямку руху меншого кола (рис. 2. 22). Тоді довільна точка кола малого круга, пересуваючись від свого початкового положення – точки дотику, здійснює прямолінійний рух уздовж діаметра великого кола.

Як видно, зі складання двох колових рухів ат-Тусі отримав прямолінійний рух. В термінології векторного числення і теорії механізмів його описують парою векторів рівної довжини, що обертаються зі сталою швидкістю, причому швидкість другого вектора удвічі більша від швидкості першого і спрямована у протилежний бік. Кінець же другого вектора здійснює просте гармонійне коливання, так що довжина результуючого вектора періодично змінюється від нуля до $2d$. Згодом «пару Тусі» використав Коперник для опису руху Меркурія. Це, до речі, частковий випадок гіпоциклоїд: при співвідношенні між радіусами великого і малого кругів $R = nr$ маємо гіпоциклоїди з загостреннями, якщо n – ціле число, епіциклоїди, що перетинають себе, якщо n дробове, і незамкнуті епіциклоїди, коли n ірраціональне.

Головний принцип дії моделі ат-Тусі такий. Нехай (рис. 2. 23) A – апогей орбіти «середньої» планети, радіус цієї орбіти – OA . На продовженні лінії PA відкладемо точку F , так що $EF = OA$. Поділивши відрізок FA пополам точкою D , так що $FD = \frac{1}{2}FA = \frac{1}{4}ET$, приймаємо, що ця точка D є центром малого

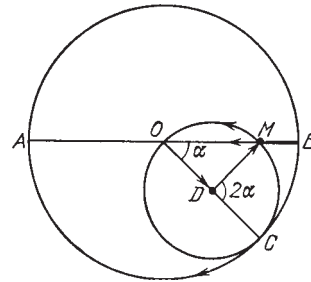


Рис. 2. 22. «Пара Тусі»: з обертального руху двох кіл можна отримати поступальний рух точки M уздовж діаметра; це еквівалентне обертанню двох векторів однакової довжини з кутовими швидкостями $\vec{\omega}$ і $-2\vec{\omega}$, тут довжина результуючого вектора змінюється за законом $\vec{OM} = \vec{OB} \cos \omega t$.

кола (див. рис. 2. 22), яка обертається навколо точки F з кутовою швидкістю ω . При цьому в кожний момент часу $DN \parallel ET$ (N –

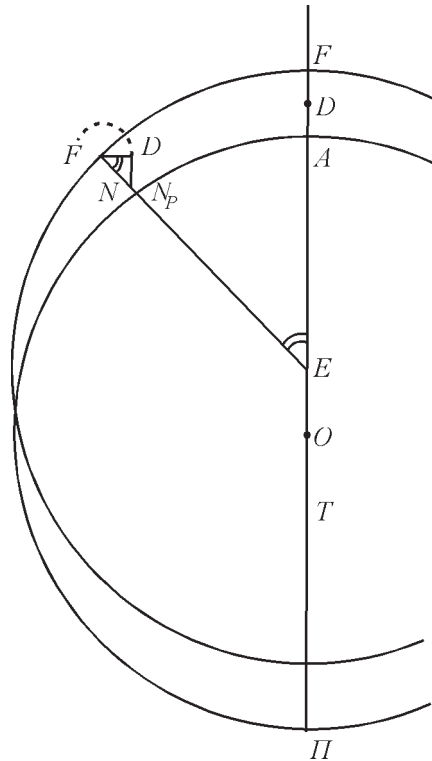


Рис. 2. 23. Принцип дії моделі ат-Тусі: внаслідок обертання точки D навколо F центр епіцикла N ковзає уздовж напрямку EF , N_p – положення середньої планети за Птолемеєм.

положення «середньої» планети – центра епіцикла) і $\angle EFD = \angle AEF$. Як видно з рис. 2. 23, в точках A і Π центри птолемеївського епіцикла і епіцикла ат-Тусі збігаються, в інших випадках спостерігач з точки T реєструє певні відхилення від «класичних обчислень за Птолемеєм», що якраз сприяють кращому узгодженню теорії зі спостереженнями.

Отже, «пара Тусі» забезпечує зміну довжини результуючого вектора, тобто побудову ексцентера. Для пояснення нерівномірного руху планет ат-Тусі зберіг еквант у смислі «вирівнюючої точки». А ось наступний крок уперед (якщо це було так!) зробив Ібн аш-Шатир (1304–1376), який зобразив рух Місяця за допомогою деферента і двох епіциклів. Згодом таку модель детально опрацював М. Коперник (див. далі), чи знав він про роботу аш-Шатира, невідомо.

Загалом же своєю моделлю ат-Тусі зробив дуже багато: він уперше ніби перекреслив протиставлення двох видів руху – «досконалого» колового і «локального» прямолінійного.

Ще одним видатним науковим астрономічним центром був Самарканд – сталося це в час 40-річного правління внука Тимура Улугбека (1394–1449). Тут 1424 р. збудовано найбільшу на той час у світі астрономічну обсерваторію, її триповерхова будівля висотою 30 м розташовувалася на горбі висотою 21 м. Основним інструментом тут був мармуровий секстант радіусом 40 м, який на 10 м заглиблено

у підземелля (рис. 2. 24). Оскільки одному градусові тут відповідала дуга довжиною 70,2 см, то цей прилад давав можливість здійснювати спостереження Сонця з похибкою 1". Підсумком роботи Улугбека і його співробітників були «Нові астрономічні таблиці», в яких вміщено вступ (теорію) і власне таблиці. Вступ мав чотири частини: виклад методів літочислення, практичної астрономії, виклад теорії руху планет і, нарешті, астрології.

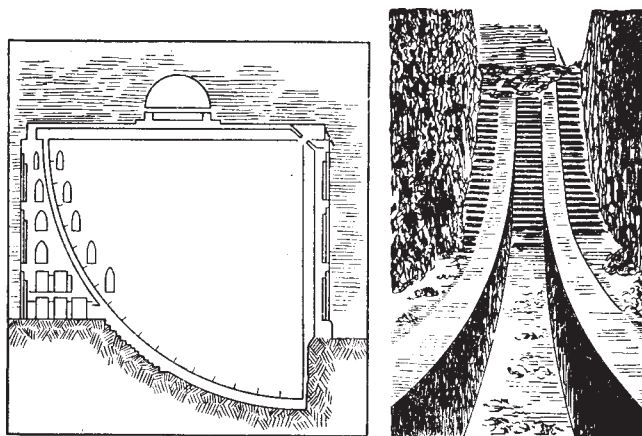


Рис. 2. 24. Самаркандська обсерваторія.

Вказана Улугбеком тривалість року (365,24253 доби) і річного руху планет показує, що його числові дані дуже близькі до сучасних. Серед таблиць вміщено каталог, який охоплював 1018 зір. Проаналізувавши всі спостереження Улугбека, Лаплас назвав його «найвидатнішим спостерігачем».

Особливе зацікавлення і в минулому, і в наш час викликають погляди учених Самаркандської обсерваторії на питання про місце Землі у світі. Так, Казі-Заде ар-Румі у творі «Шарх Джагміні» (1412 р.) писав: «...деякі вчені вважають, що Сонце перебуває у центрі орбіт планет. Планета, яка рухається повільніше, ніж інша, більше віддалена від Сонця. Та ж планета, що рухається найповільніше, перебуває на найбільшій відстані від Сонця». І в іншому місці: «Земля нерухома. Центр її збігається з центром всесвіту. Така гіпотеза найімовірніша. Але є інша гіпотеза... Оскільки кожне важке тіло (де б воно не знаходилося) рухається в напрямку до центра Землі, то можна вважати, що центр Землі є лише центром важких тіл, які

оточують Землю. Звідси можна допускати, що й сам центр Землі рухається і разом з ним рухається вся Земля. Така гіпотеза є також привабливою».

А ось що писав інший співробітник цієї ж обсерваторії Абд ал-Алі ал-Кушчі (пом. у 1474 р.) в «Коментарі до тез теології»: «Земля рухається з заходу на схід. Які докази цієї теорії? Відомо, що планети рухаються на схід повільно. Але їхній рух на захід є швидшим. Неможливо припустити, що одне і те ж світило одночасно рухається в протилежних напрямках. Такий повільний рух можна відносити і до самої Землі. Якщо не будемо так покладати, то маємо суперечність.

Тому вважають, що добовий рух світил на захід виникає зі справжнім рухом самої Землі із заходу на схід. Тому нам здається, що світила сходять на сході і заходять на заході. Таке відчуття буває у спостерігача, який сидить на кораблі, що рухається річкою. Спостерігачеві відомо, що берег води нерухомий. Але йому здається, що берег рухається в напрямі, протилежному до напрямку корабля.

Чи варто після цього дивуватися тому, що Улугбека звинувачено в ересі, що його старший син, перебуваючи під впливом реакційного духовенства, оголосив йому війну і що Улугбек загинув від зрадницької руки як «відступник від ісламу». Складені ж під керівництвом Улугбека «Нові Гураганські таблиці» прославили його в століттях. Каталог зір, що був включений у цю книгу, надруковано в Оксфорді 1648 р. частково (взято положення лише 98 зір), а 1665 р. повністю. Згодом його неодноразово перевидавали з коментарями. Аналіз планетних таблиць Самаркандської обсерваторії здійснив Г. Д. Джалалов (1955).

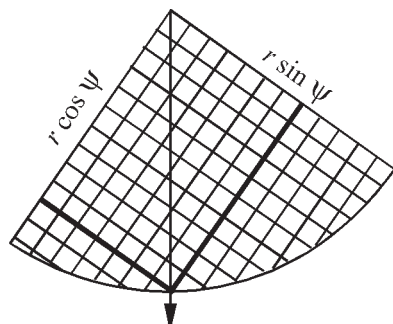


Рис. 2. 25. Синус-квадрант; вказано метод розв'язування рівняння.

ТРАКТАТИ ПРО КВАДРАНТИ. Окремо слід згадати численну літературу арабських астрономів про квадранти, що були дуже поширеним типом астрономічних інструментів тих часів (А. К. Тагі-Заде, 1977). Зокрема, так звані синус-квадранти – це лінійні транспарантні номограми, в яких роль транспаранта відігравав шнурок з рухомим вузликом (рис. 2. 25).

Поверхня синус-квадранта перетята двома рядами прямих, паралельних двом взаємно перпендикулярним радіусам. Вимірювання дуг здійснювали за допомогою нитки з підвішеним до неї тягарцем. За допомогою цього інструмента можна розв'язувати рівняння типу $\sin \delta = \sin \lambda \sin \epsilon$, де ϵ – кут нахилу екліптики до екватора, λ – довгота світила і δ – його схилення. Відділивши ниткою на дузі квадранта $\sin \epsilon$ і отримавши на одній з прямолінійних сторін квадранта $\sin \epsilon$, відкладають на гіпотенузі (нитці виска) $\sin \lambda$ і з кінця цього відрізка опускають перпендикуляр на цю ж сторону квадранта. Отриманий відрізок OC дорівнює $\sin \delta$.

Відомі різновиди квадрантів – «квадранти з прихованим синусом», «крилаті квадранти», «тангенс-квадранти» або «квадранти тіней», «альмукантаратні квадранти», «універсальні квадранти» тощо. Наявні на них сітки допоміжних ліній істотно пришвидшували отримання кінцевого результату спостережень.

§ 4. Астрономія у Західній Європі

Після падіння Рима (476 р.) і припинення існування Західної Римської імперії Західна Європа більш як 200 років залишалася роздрібленою на окремі князівства й охопленою безперервними війнами, тут царювало певне духовне спустошення. І все ж декілька імен зберігає історія науки і з цього важкого для континенту часу.

«Про природу» – Ізидор і Беда. Вже в часи Косми Індікоплевста Західна Європа йшла в майбутнє своїм шляхом. Відповідно тут з'являлися «свої» твори, в яких викладено загальні принципи світобудови, дано пояснення найважливіших астрономічних, метеорологічних, географічних, кліматичних та біологічних проблем. Найвідоміші книги «Про природу речей» севільського єпископа Ізидора (570–637) та британського монаха Беди Шановного (677–736).

Ізидор Севільський відомий як автор широко розповсюджованої у середні віки «Етимології, або Начал» – своєрідної енциклопедії, довідника з усіх наук. На основі ж праці Ізидора «Про природу речей» під тою ж назвою написав (зі значно тверезішим поглядом на речі) трактат і Беда. Ось декілька уривків з цієї праці (Т. Ю. Бородай, 1988):

«Про твердь. Небо має тонку й вогняну природу, воно кругле, скрізь однаково щільне і від центра землі віддалене на однакову відстань. Мудреці (давньогрецькі філософи – І. К.) говорили, що

склепіння неба і його середина... здійснює своє щоденне обертання з неймовірною швидкістю. Так що воно упало б, якби зустрічний рух планет не злагоднював його [руху].

Про верхнє небо. Небо найвищого кола, віддалене [від усіх інших кіл] особливою межею і, перебуваючи скрізь на однакових відстанях..., є місцем перебування ангельських сил... [Вогненну] природу цього неба Бог пом'якшив зледенілими водами, щоб воно не запалило елементи, які перебувають нижче. Далі, він зробив твердим найнижче небо... і назвав його твердо, оскільки воно підтримує верхні води.

Про небесні води. Що стосується вод, які лежать над твердо, нижче духовних небес, але вище від усякого тілесного творіння, то деякі вважають, що вони зберігаються тут для нового потопу, інші ж твердять – і значно справедливіше – що вони перебувають там, щоб послаблювати полум'я світил.

Про рух планет. Між небом і землею висять сім зір, які розділені певними проміжками і які зветься «блукаючими», оскільки рухаються вони в бік, протилежний [рухові] світу... І хоча [небо], що стало обертається з безконечною швидкістю, заважає їм і втягує їх [за собою] до заходу, однак вони продовжують рухатися у протилежний бік, кожна своїм шляхом... Коли ж їх руху перешкоджають промені Сонця, він стає аномальним, і вони або [рухаються] у зворотний бік, або зупиняються...

...У кожній планети свій колір... Однак кольори їх змінюються залежно від висоти, так що [планета] стає подібна до тої, в зону якої вона потрапила..., при наближенні до більш холодної – [вона забарвлюється] у блідий, до гарячішої – у червоний колір, ...наближуючись же до Сонця ...[планети вкриваються] чорною темрявою.

Про рух і величину Сонця. Кажуть, що сонячний вогонь живиться водою і що Сонце значно більше за Місяць, а оскільки і Місяць більший за Землю, [то Сонце настільки велике, що незалежно від точки спостереження] усім здається однакової величини... Маючи [і без цього] вогненну природу, воно ще збільшує свій жар, розпікаючись у надто стрімкому русі».

Беда стверджує далі, що «Фундаментом Землі служить її власна стійкість, і безодня огортає її як плащ... Будучи розташованою у центрі, або на осі світу, Земля – найважча з елементів – займає найнижче, середнє місце серед усіх творінь...» Звичайно ж, Земля має форму кулі.

Варте уваги, що питання про «небесні води над твердю» турбувало багатьох авторів ранньохристиянських космографій. Пояснювали ж це так: надмісячний світ, вогнений за своєю природою, обертається з неймовірною швидкістю і від цього ще більше розжарюється. Він міг би спалити все, що нижче від Місяця... Тому води, охолоджуючи твердь, спасають світ від пожежі. Приблизно через сто років після Беди монах того ж монастиря Петра і Павла, в якому Беда трудився усе своє життя, Брідіферд про твердь небес розмірковував так: «Твердь створена із замерзлої води і подібна до кристалю. Але їй не є чужим і вогненне начало, бо в ній розташовані світила, а вони вогненні...» І далі: «Природа світил настільки вогненна, що вони згоріли б, якби води не применшували їхнього жару. І як Сонце знищило б Землю, якби не було води всередині її і ззовні, так же і твердь була б знищена вогнем того ж Сонця та інших світил, що перебувають у ній, коли б над нею не було вод».

Ще одне питання – про розташування Землі. У книзі Іова (26:7) сказано, що Бог «повісив землю ні на чому». З цього приводу Ізидор Севільський писав так: «І все ж не зовсім зрозуміло, чи висить Земля завдяки щільності повітря, або підтримується водою, як сказано у Письмі: «Утвердив землю на водах». І яким чином м'яке повітря може видержувати такий тягар, як Земля? Або, якщо так неймовірна вага плаває на воді, то чому вона не тоне і не перевертається іншим боком вниз? Цього не можна знати нікому із смертних, і не дозволено нам випробовувати так видатне творіння божественного мистецтва; досить нам знати, що за законом могутності Божої земля навіки пробуде нерухомою, чи то над водою чи на хмарах. Все, що приховане від природи смертних, слід віддати божественній владі...»

Доречно навести і слова Іоанна Новіомага (імовірно, поч. XII ст.), що стосуються проблеми «обертання неба з неймовірною швидкістю», оскільки тут, крім іншого, мовиться і про розміри Сонця: «Величину цієї швидкості можна уявити собі так: Сонце, сходячи, стає видимим цілком за дуже короткий проміжок часу, а прецінь воно разів у тридцять більше за всю земну кулю; з цього співставлення можна зробити висновок, що немає під небом речі так же швидкорухомої, що ні вітри, ні літаючі птахи, ні кинутий спис не можуть рухатися з такою стрімкою швидкістю. Що ж до твердження багатьох серйозних письменників, які підкоряються авторитету

Плінія та які стверджують, нібито небо обов'язково повинно б упастися, – тобто порушився б порядок його руху, створюваний, як відомо, певною гармонією його частин, – якби його не стримував рух планет у зворотний бік, тобто справа наліво, – то це, поза всяким сумнівом, мовиться скоріше для краси, ніж з фізичних міркувань».

Століття схоластики. З VIII ст. духовне життя у Західній Європі стало відживати. Прийнято навіть говорити про «Каролінгське відродження», що розпочалося при імператорі Франкської держави Карлі Великому. Він, зокрема, 782 р. створив при своєму дворі вчене товариство на чолі з математиком аббатом Алкуїном (Флакк Альбін, 735–804). При монастирях було відкрито школи, в яких навчання складалося з двох ступенів: тривіум (граматика, риторика, діалектика) і «квадривіум» (музика, геометрія, астрономія та арифметика). Серед інших відомих діячів цієї епохи – ірландський філософ Іоанн Скотт Еріугена (810 – бл. 877), погляди якого щодо філософії природи дають підставу вважати його попередником Миколи Кузанського (див. наступний розділ).

Наприкінці IX ст. південна частина Європи була захоплена арабами. В кінцевому підсумку це дало поштовх і до вивчення європейцями багатющої спадщини античних та елліністичних авторів. Тоді, з початком другого тисячоліття у Західній Європі вирости великі міста, розвивалися ремесла і торгівля. Була потреба в освічених людях. Це і привело до появи світських шкіл. У різних містах Європи засновано університети: в Болоньї (1119 р.), Равенні (1130 р.), Парижі (1200 р.), Кембриджі (1209 р.), Оксфорді (1214 р.) і т.д. Щоправда, на підготовчому філософському факультеті університетів, де навчання складалося зі згаданих вже двох ступенів, вивчення астрономії було обмежене викладом біблійної картини світу і проблемою розрахунку дати пасхи.

Створення торговельного флоту в багатьох містах Італії та інших країн обумовило потребу в кутомірних інструментах, компасах і морських картах. Це обумовило також зацікавлення досягненнями давньогрецьких та арабських астрономів. Тому в XII ст. в Європі з'являються переклади на латинську мову праць давньогрецьких філософів, зокрема Аристотеля, як також – праць грецьких та арабських астрономів. Так, 1116 р. Платон Тиволійський переклав «Астрономію» аль-Баттані, Абельяр із Бата – астрономічні таблиці

аль-Хорезмі та «Начала» Евкліда. Найвідомішим з перекладачів був Герхард із Кремони (1114–1187), який переклав загалом понад 70 творів, він спеціально їздив у Толедо на пошук праць Птолемея і 175 р. здійснив переклад «Альмагеста» з арабської мови на латинську.

Щоправда, фізичні та астрономічні погляди Аристотеля спочатку були засуджені на Паризькому (1209 р.) і Латеранському (1215 р.) церковних соборах за те, що вони «породили ересь». Однак невдовзі Фома Аквінський (св. Тома, 1225–1274) зумів пристосувати космологічні погляди Аристотеля до вчення церкви. Цю систему мислення названо схоластиком (від лат. *schola* – школа), її викладали упродовж декількох століть. Як кажуть, у цей час усі сили учнів спрямовували не на дослідження природи, а на зазубрювання висловлювань «авторитетних учених», передусім Аристотеля, на коментування їх і проведення диспутів. Сакраментальним же початком кожного з них могли бути слова «Учитель сказав...» (тобто Аристотель). А тим часом, як вже згадано, через декілька століть француз П'єр Рамус заявить: «Усе, що сказав Аристотель, – брехливе...»

Однак, характеризуючи цю епоху, маємо взяти до уваги таку думку сучасного філософа А. Койре (1892–1964): «Ще порівняно недавно середньовіччя в цілому зображалося найтемнішими фарбами: безнадійна епоха, коли уярмлений авторитетом – подвійним авторитетом релігійної догми та Аристотеля – людський розум виснажував себе у безплідних суперечках про уявні проблеми. Ще сьогодні термін «схоластика» має для нас чисто принизливе значення.

Безперечно, не все є фальшивим у цій картині, але ще безперечноше, що не все в ній правильне... Сьогодні ми вже знаємо, що схоластична філософія була чимось дуже значним. Саме схоласти здійснили філософську освіту Європи і створили нашу термінологію, якою ми дотепер користуємося; це їхні праці дозволили Заходу сприйняти чи, точніше, встановити контакт з філософською спадщиною античності. Тому... існує істинна – і глибока – спадкоємність між середньовічною філософією і філософією Нового часу» (А. Койре, 1985).

Будову світу схоласти розглядали за Аристотелем. У центрі розташована нерухома Земля у формі кулі, всередині якої міститься пекло. Ззовні ця куля оточена водою, далі повітрям і ще вище – вогнем. Навколо Землі обертаються прозорі кришталеві сфери –

небеса, що рухаються ангелами. Там розташовані послідовно небо Місяця, небо Меркурія, небо Венери, небо Сонця, небо Марса, небо Юпітера, небо Сатурна. Далі йде небо нерухомих зір (небесна твердь), дев'яте небо – «першодвигун» і десяте небо – емпірей – «житло блаженних душ», де перебуває Бог, ангели і праведники. Детально ці уявлення про будову світу описав, зокрема, А. Данте (1265–1321) у «Божественній комедії». Для обрахунків положень планет використовували звичайно систему Птолемея.

Що ж стосується конкретних уявлень про розміри небесних тіл, то за приклад можна взяти датовану 1188 р. пам'ятку – рукопис «А-65», який зберігається в грузинському Інституті рукописів (очевидно, це переклад з арабської). На 351-му листі є таблиця – відомості про розміри планет у порівнянні із земною кулею. Вказано, що розміри Місяця та Меркурія відповідно дорівнюють $\frac{1}{39}$ і $\frac{1}{132}$ радіуса Землі. Усі інші світила – більші за Землю: Венера – у 40, Сонце – в 60 і $\frac{1}{4}$, Марс – в 1 і $\frac{1}{2}$, Юпітер – у 72 і $\frac{1}{2}$ і $\frac{1}{4}$, Сатурн – у 70 і $\frac{1}{2}$ рази. Як бачимо, на початку другого тисячоліття астрономи (тут, можливо, – арабські) починали усвідомлювати, очевидно – інтуїтивно, що навколишній світ може вражати, зокрема, своїми розмірами...

Розділ 9. ПЕРЕДДЕНЬ НОВОЇ ЕПОХИ

На початку другого тисячоліття нашої ери освіта ще залишалася монополією церкви. І найголовніше, чим займалися схоласти, було питання про відношення знання до віри. Вже згаданий Еріугена стверджував, що між справжньою філософією і релігією не може бути жодної суперечності, оскільки критерієм правильного тлумачення Святого Письма є розум. Архієпископ Кентерберійський Ансельм (1033–1109) намагався за допомогою розуму довести догмат про існування Бога: «безумовно досконала істота має всі ознаки досконалості свого буття у тому числі й існування» (так званий *онтологічний аргумент*). Тоді ж П'єр Абеляр (1079–1142) писав: «Вірте доказам розуму, а не авторитетам».

Великий вплив на становлення західноєвропейської науки мав арабський філософ Ібн-Рушд, інакше – Аверроес (1126–1198). За його твердженням, матеріальний світ безконечний в часі, але обмежений у просторі (не даремне існувало твердження, що Аристотель пояснив природу, а Аверроес – Аристотеля). Аверроес відкидав релігійну

формулу, за якою Бог створив світ «з нічого». Бог – «співвічний» природі, він – вічне джерело дійсності, тоді як матерія – єдина основа буття – є вічним джерелом можливості. Матерія і форма не існують окремо одне від одного, а становлять єдність. Матерія є універсальним і вічним джерелом руху. Аверроес був одним із основоположників дуже популярного на той час вчення про «подвійність істини». Він стверджував, що істина філософії та істина релігії не суперечать одне одному, бо стосуються різного: релігія приписує людині норми поведінки, а філософія намагається збагнути абсолютну істину.

Поборюючи аверроїзм, Фома Аквінський доводив, що віра і розум не лише відрізняються одне від одного, але водночас гармонійно узгоджуються між собою. Що, просуваючись в пізнанні істини, розум може вступити в суперечність з догматами віри. І тут треба визнавати, що помиляється розум. Фома сформулював «п'ять шляхів» – доведень існування Бога-Творця, де основною є теза про те, що кожне явище має свою причину (*космологічний аргумент*).

§ 1. ПЕРШІ ЗДОБУТКИ ЄВРОПЕЙЦІВ

У XIII ст. розбіжність між таблицями положень планет, складеними арабськими астрономами на підставі теорії Птолемея, і новими спостереженнями виявилася дуже великою. Тому за дорученням короля Кастилії Альфонса X (1226–1284) у 1252 р. були складені нові, «Альфонсові таблиці». Їх упродовж двохсот років і використовували у всіх європейських державах. Король Альфонс (названий Мудрим) побудував у Толедо першу в Європі астрономічну обсерваторію, куди запросив для роботи багатьох мусульманських, єврейських і християнських астрономів та математиків. При складанні згаданих таблиць використано як спостереження арабських астрономів, так і здійснені в Толедо. Тут же подано точніші значення астрономічних величин, зокрема тропічного року.

В час Альфонса X на підставі арабських джерел створено першу ж європейську енциклопедію астрономічних знань «*Libro del Saber*» – «Книгу мудрості». Привертає увагу те, що в ній на рисунку «світобудови» орбіта Меркурія, хоча і геоцентрична, але зображена у формі еліпса.

За легендою, король Альфонс X згодом втратив свій трон через те, що, ознайомившись із системою світу Птолемея, кинув фразу:

«Якби Господь Бог при творінні світу запитав моєї поради, я порекомендував би зробити світ краще, а головне – простіше».

Заслуговує згадки тут і англійський астроном та математик Джон Холівуд (бл. 1200–1256), відомий під іменем Сакробоско. Він був першим у середньовічній Європі, хто почав вивчати праці арабських астрономів. Викладаючи з 1230 р. в Парижі, він на основі творів аль-Фаргані та аль-Баттані створив «Трактат про сферу Всесвіту», який майже триста років використовували як підручник астрономії. У «Трактаті» було вміщено головні ідеї «Альмагеста» з урахуванням усіх досягнень арабських астрономів. Сакробоско створив також навчальний посібник з арифметики (*Algorismus*) та складання календаря (*Computus*).

Варто відзначити, що доля «Трактату» була дуже щасливою, адже його використовували як підручник навіть у XVII ст. (наприклад, у Нідерландах його перевидано 1626, 1639, 1641, 1647, 1656 рр.). «Трактат» перекладено на італійську, єврейську, французьку, німецьку, іспанську, англійську мови. Його перше типографське видання 1472 р. було другою (після Біблії) книгою, виданою друкарським способом. Упродовж XV–XVII ст. латинською мовою його видано (з коментарями і без них) 144 рази (у XV ст. – принаймні 25 разів). На початку XX ст. акад. А. І. Соболевський виявив у музеї Холмського православного братства рукопис «Космографії», що, за всіма даними (В. П. Зубов, 1962), був перекладом на слов'яноруську мову «Трактату» Сакробоско.

Отже трактат цей складався з чотирьох розділів. У передмові автор писав так: «Трактат про сферу ми поділимо на чотири розділи і скажемо в першому про те, що таке сфера, що таке її центр, що таке вісь сфери, що таке полюс світу, скільки існує сфер і яка форма світу. У другому – про кола, з яких складається ця матеріальна сфера і з яких, як ми робимо висновок, складається і та принебесна сфера, яку ми уявляємо за допомогою цієї (мова йде про армілярну сферу, на якій під час навчання демонстрували небесні кола і рухи – *І. К.*). У третьому розділі – про схід і захід сузір'їв, і про відмінності ночей і днів, які бувають у мешканців різних місцевостей, а також про відмінності кліматів. У четвертому – про кола і рухи планет і про причини затемнень».

Цікаво, що Сакробоско вважав неможливим життя на Землі як за обома полярними колами, так і в поясі між обома тропіками. По той б́ік екватора він допускав можливість існування мешканців лише між південним полярним колом і тропіком Козорога.

В XIII ст. в Європі освічені люди все більше усвідомлювали як слабкі сторони математичної теорії Птолемея, так і необґрунтованість окремих фізичних постулатів Аристотеля. З тої пори розпочалося уточнення окремих понять фізики, передовсім механіки та оптики (точніше – геометричної оптики). Розробляється новий підхід до вивчення явищ навколишнього світу, тобто нова методологія науки.

Першою у цьому напрямі була робота англійського фізика і філософа єпископа Лінкольнського Р. Гроссетета (1175–1253), який висловив своєрідну ідею формування матеріального Всесвіту, виходячи з уявлень про рух світлових променів і заповнення ними деякої світлової сфери. Було відомо, що зі збільшенням відстані від джерела світло стає все слабкішим.

Сформувався образ пучка світлових променів-ниток, кінці яких «проявлялися» світловими точками на сфері і поверхнева густина яких зменшувалася зі зростанням радіуса і площі сфери. За Гроссететом, початком творення матеріального Всесвіту і був рух світлових точок, внаслідок яких моментально формувалася світлова сфера, яка з огляду на миттєвість поширення світла могла бути як завгодно великою. Однак оскільки з відстанню світло послаблюється, то все ж Всесвіт має скінченні розміри. Далі розвиток небесних тіл обумовлювався наявними у просторі розрідженнями та ущільненнями.

Учень Гроссетета, видатний англійський філософ Роджер Бекон (1214–1292) розвинув ці космологічні ідеї і зробив узагальнюючий висновок, що, аналогічно до поширення світла, всі дії у природі «здійснюються відповідно множенню образів і сил... і закони цього типу множень... є спільними для дії... як у небесному, так і в земному». Як зауважили А. Й. Єремєєва та Ф. О. Цицин (1989), «Бекон вважав можливим все пізнавати за допомогою геометричної оптики. Згодом, як ми побачимо, Кеплер переніс ці уявлення про силу і поширення світла на силу тяжіння і магнетизму... У картині світлової сфери як суми світлових («силових») ниток відроджувалися атомістичні уявлення про силу, що розкладається на елементарні складові.

Це готувало ґрунт для початку математичного, кількісного дослідження взаємодії, сил, процесів.

Р. Бекон одним із перших виступив і проти сліпого схиляння перед авторитетом Аристотеля. (Це вже стало настільки явним гальмом у розвитку знань, що, за словами Бекона, він готовий був спалити його твори.) Бекон вказував на необхідність експериментального і математичного дослідження в науці взагалі. (Парадоксально... але у свій час і Аристотель... критикував чисте розмірковування і намагався обґрунтовувати висновки спостереженням і досвідом! Але про це забули)».

§ 2. АСТРОНОМІЯ ПУРБАХА І РЕГІОМОНТАНА

Як вже зазначено вище, з ростом торговельного (та й військового) флоту в Європі зростала потреба як у кутомірних приладах, так і в астрономічних таблицях для встановлення місцезнаходження і напрямку руху корабля в морі. Щодо приладів, то крім вже згаданої астролябії у мореплаванні упродовж декількох століть використовували так звану палицю Якова, винайдення якої приписують Леві бен Герсону (1325 р.). Цей прилад складався з двох взаємно перпендикулярних лінійок, коротша з яких пересувалася уздовж довшої, що мала довжину 2–3 м. Спостерігач пересував коротшу лінійку так, щоб око, розташоване при кінці довшої, могло бачити через кінці коротшої обидва предмети, кутову відстань між якими треба було визначити. Якщо на довгій лінійці не було шкали, то величину вимірюваного кута встановлювали, прикладаючи прилад до паперу, на якому заздалегідь було намальовано коло з кутовими поділками.

Австрійський астроном Георг Пурбах (1423–1461) для проведення астрономічних спостережень побудував «геометричний квадрат»: квадратну раму, у верхньому куті якої прикріплювали за один кінець рухому лінійку з діоптрами. Сторони квадрата ділили на 130 частин, що давало можливість досить точно визначати тангенси спостережуваного кута.

Німецький астроном Бернгард Вальтер (1430–1504), орієнтуючись на птолемейський опис, виготовив армілу, за допомогою якої визначав положення планет з точністю до 5', а висоти Сонця – з похибкою до 1', що істотно перевищувало точність спостережень Птолемея. Німецький астроном, учень Пурбаха Йоганн Мюллер,

відомий під іменем Регіомонтана (1436–1476), проводив спостереження Сонця за допомогою потрібної рейки – трикветрума – з похибкою до $1'$.

Отже, здійснювалися спроби винайдення нових приладів і вдосконалення старих, підвищення точності спостережень. Усе це потрібне було і для визначення географічних координат, і для певних календарних обрахунків (гостро стояла проблема реформи календаря).

Тим часом виявилось, що «Альфонсові таблиці» не можуть задовольнити спостерігачів: місячні затемнення запізнювалися на годину, різниця між табличними координатами планет і спостережуваними сягала декількох градусів (2° для Марса, наприклад). Виникла проблема укладання нових таблиць, і цю роботу виконали Пурбах разом зі своїм учнем Регіомонтаном.

На шляху до цього Пурбах, здійснивши дворічну мандрівку в Італію та прочитавши у Відні декілька років математичну теорію планет (строго за Птолемеєм), написав книгу «Нова теорія планет». Упродовж десятиліть ця книга була для європейців основним навчальним посібником з астрономії. Далі, упродовж 1456–1461 рр. Пурбах з Регіомонтаном здійснили ряд циклів спостережень Сонця, Місяця і місячних затемнень.

Вони вивчали також рух комети 1456–1457 рр. (комети Галлея), що дало змогу Пурбаху зробити висновки: 1) відстань до цього об'єкта значно більша, ніж це приймалося раніше, і 2) розміри цього світила є дуже великими. І те, і друге істотно розбігалось з традиційними, аристотелівськими уявленнями.

Саме для складання нових, точніших таблиць Пурбах придумав пристосування для обчислення тангенсів («геометричний квадрат»). У свою чергу, Регіомонтан розрахував таблицю синусів від 0° до 90° через $1'$, а також таблицю тангенсів (загалом він, як кажуть, відродив у Європі вживання синусів). Пурбахові не довелося поїхати в Італію ще раз, щоб ознайомитися з грецькими рукописами, зокрема «Синтаксисом» Птолемея, що їх вдалося вивезти з Константинополя безпосередньо перед його захопленням турками (1453 р.). Після його раптової смерті задумане довершив Регіомонтан, який, повернувшись (1467 р.) на батьківщину разом з Б. Вальтером у 1471–1475 рр. вперше в Європі здійснив тривалі систематичні спостереження Сонця. Є відомості, що, проспостерігавши комету 1472 р., Регіомонтан назвав її небесним тілом (твір цей не зберігся).

Щоб завершити справу, розпочату Пурбахом, – видання праць античних авторів і нових астрономічних творів, Регіомонтан у Нюрнберзі організував власну друкарню. У ній 1472 р. було надруковано «Нову теорію планет», в якій Пурбах першим у Західній Європі виклав птолемеївську теорію сумісно з аристотелівською системою світу. За Пурбахом, зони епіциклів планет «ізолювані» одна від одної твердими сферичними оболонками. У 1473 р. Регіомонтан опублікував свою основну працю «Ефемерида» – таблиці положень Сонця, Місяця і планет на 32 роки наперед (1475–1506 рр.). Його таблиці були набагато точніші від Альфонсових і водночас – останніми в Європі геоцентричними таблицями. В «Ефемеридах» Регіомонтан вмістив розроблений ним метод визначення географічної довготи – за порівнянням спостережуваного і табличного положення Місяця відносно яскравих зір. Лише маючи ці таблиці, мореплавці зважилися, нарешті, плисти через океани, не боячись втратити з очей берег. Саме ці таблиці допомогли Колумбові відкрити нову частину світу – Америку (1492 р.), а Васко да Гама – відшукати морську дорогу в Індію, пропливши навколо Африки (1498 р.).

В Нюрнберзі Регіомонтан завершив розпочату ще Пурбахом працю – переклад і коментування птолемеївського «Мегале Синтаксиса» (друкування було завершено лише 1496 р.).

В «Ефемеридах» на 1474 р. Регіомонтан вказав на помилковість прийнятих обчислень дат пасхи: оскільки при цьому і далі вважалося, що весняне рівнодення (як у час Нікейського собору 325 р.) припадає на 21 березня, тоді як насправді воно змістилося по датах юліанського календаря майже на 10 діб назад. Папа Сикст IV запросив Регіомонтана до Рима для підготовки проекту реформи календаря, однак учений невдовзі після приїзду помер.

Справу Регіомонтана у Нюрнберзі продовжив Б. Вальтер. Він, зокрема, розробив метод уточнення координат Сонця на небесній сфері шляхом відліку їх не від Місяця, як це робили раніше, а від Венери. Він же першим серед астрономів почав виправляти виміряні зенітні відстані світил правдоподібними поправками на атмосферну рефракцію.

§ 3. Провісники нового світогляду

З кожним наступним століттям ставало все очевиднішим, що систему Птолемея важко узгодити з довгими рядами спостережень планет, доводилося здійснювати перерахунки, вводити нові епіцикли, змінювати співвідношення радіусів уже наявних. І, очевидно, не без впливу ідей, що пережили півтори тисячі років, – уявлень про можливий рух Землі як навколо своєї осі, так і навколо Сонця, окремі західноєвропейські вчені XIV–XV ст. висловили погляди, які цілком не вкладалися в рамки схоластичного світогляду, а, навпаки, випереджували рівень тогочасної науки. Ось чотири винятково цікаві постаті, фізичні й астрономічні погляди яких заслуговують особливої уваги. Це видатний французький вчений, ректор Паризького університету Жан Буридан (бл. 1300 – бл. 1358), його учень Микола Орем (Орезмський, бл. 1323–1382), кардинал Микола Кузанський (1401–1464) і славетний італійський учений Леонардо да Вінчі (1452–1519).

У своїй праці «Питання до чотирьох книг про небо і про Всесвіт Аристотеля» Буридан обговорює, зокрема, проблему «Чи завжди Земля перебуває в спокої у центрі Всесвіту». «Це питання, – зазначає він, – дуже складне. Передусім є серйозний сумнів у тому, що Земля міститься безпосередньо у центрі Всесвіту і що її центр збігається з центром Всесвіту. Далі, є сильний сумнів у тому, чи не переміщується Земля як ціле іноді поступально... Далі, є вагомий сумнів щодо правильності нижченаведеного висновку Аристотеля, а саме, що небеса з необхідності вічно здійснюють коловий рух, а тоді з необхідності Земля повинна перебувати непорушно в центрі. Існує також четвертий сумнів щодо можливості спасіння усіх видимих нами явищ, якщо допустити, що Земля здійснює коловий рух навколо власного центра і навколо своїх власних полюсів. Розглянемо цей останній сумнів.

Багато людей, як відомо, вважали ймовірним, що рух Землі по колу певним чином не суперечить загальноприйнятому і що кожен звичайний день вона здійснює повний оберт з заходу на схід, повертаючись знову на захід, якщо прийняти яку-небудь частину Землі за точку для спостереження. Тому необхідно допустити, що сфера зір була б у спокої, і тоді ніч і день змінювали б одне одного завдяки такому обертанню Землі, так що цей рух Землі був би добовим рухом. Нижченаведене є прикладом стану такого типу.

Якщо хто-небудь рухається на кораблі і уявляє, що той нерухомий, то, коли він побачить інший, справді нерухомий корабель, йому буде здаватися, що цей інший корабель рухається. Так станеться тому, що його око є в точно такому ж відношенні до іншого корабля, незалежно від того, перебуває його власний корабель у спокої, а інший рухається, чи переважає протилежна ситуація...»

Буридан, серед іншого, відкидає твердження про те, що коли б Земля рухалася, то вона мала б нагріватися від тертя, оскільки, мовляв, тертя може існувати лише між твердими поверхнями.

Так західноєвропейські вчені починають осмислювати кінематичний принцип відносності руху. Продовжив ці розмірковування Микола Орем, опублікувавши (1377 р.) французькою мовою «Книгу про небо і Всесвіт». У ній він висловився, що, як гіпотезу, він вважає можливим підтримати думку про добове обертання Землі. Він пише далі: «Я заявляю, що, по-перше, неможливо довести протилежне за допомогою будь-якого досліду, по-друге, за допомогою роздумувань і, по-третє, я наведу міркування на користь цієї думки».

Аналогічно, як це зробив Буридан, Орем твердить, що «місцевий рух взагалі не можна спостерігати інакше, як лише відмічаючи зміну положення одного тіла стосовно іншого». Детально проаналізувавши всі заперечення, Орем висновує: за допомогою будь-яких спостережень не можна довести, що добовий рух здійснює небо, а не Земля. Наприкінці ж, щоб уникнути звинувачень у «ересі», Орем додає: «Тим не менше кожен переконаний, та і я так думаю, що рухаються небеса, а не Земля...»

В середині XIV ст. Орем написав твір «Про сумірність або несумірність небесних рухів». У ній, відкидаючи наївне уявлення про цілочисельність відношень величин у Всесвіті як прояву світової гармонії, зобразив обговорення цієї проблеми у вигляді суперечки двох муз – Арифметики і Геометрії. Далі зачитуємо А. Й. Єремєєву та Ф. О. Цицина: «Перша виступала на захист сумірності небесних рухів, посилаючись на давні і середньовічні авторитети, на їхні твердження про цілочисельність відношень як основу гармонії світу. Геометрія, навпаки, відстоювала несумірність небесних рухів як основу вищої гармонії, яка полягає у красі різноманітності якостей Всесвіту. Суперечка виглядала незакінченою, але сам Орем схилився до висновків Геометрії...

На цій основі Орем виступав проти юдиціарної і гороскопної астрології. Він не заперечував можливості фізичного впливу на процеси на Землі і навіть на людський організм з боку небесних тіл. Але твердження про зв'язок між тим чи іншим розташуванням світил і долями окремих людей і навіть держав і поради керуватися цим у справах вважав небезпечним шарлатанством... Він вказував, що при несумірності рухів небесних тіл їхнє однакове положення одне відносно одного, строго кажучи, ніколи не може повторитися... На думку Орема, принцип будови світу такий, що дозволяє, «щоб завжди з'являлися нові і не подібні до попередніх констеляції (поєднання світил) і різноманітні дії, щоб цей довгий ряд віків... не замикався в коло, а відходив без кінця по прямій завжди в далечину».

Новий сміливий крок в осмисленні навколишнього Всесвіту зробив видатний німецький філософ, учений і теолог (з 1448 р. – кардинал) Микола Кузанський. Як зауважують А. Й. Єремеева та Ф. О. Цицин, «Микола Кузанський дивився на світ крізь призму богослов'я, сприймаючи дивовижну впорядкованість Всесвіту як справу рук Творця і демонстрацію його могутності. Водночас він перший цілком порвав з догматизованим аристотелево-птолемеевим уявленням про Всесвіт, віродив відкинуту Аристотелем ідею про відсутність у Всесвіту центра і краю... Цим він виступив не лише проти геоцентризму, а й проти раннях геліоцентристів, які вважали Сонце за центр Всесвіту, і в філософському плані мислив глибше за Коперника. Микола Кузанський стверджував не лише *можливість*, але і *реальність* руху Землі у просторі... Так, за століття до Коперника вперше був проголошений по суті, принцип однорідності Всесвіту, який у наші дні часто помилково приписують Коперникові.

Всупереч вченню Аристотеля Микола Кузанський стверджував також речовинну єдність усіх космічних тіл, включаючи Землю, і висловив переконання в тому, що Космос за межами Землі – не безжиттєва пустеля...».

Микола Кузанський – автор твору «Про вчену неграмотність» (1440 р.), який був надрукований 1488 р. Майже повністю його твори були перевидані 1514 р. і знову – 1565 р. У згаданій праці Кузанський писав: «Земля не може перебувати у центрі Всесвіту, оскільки Всесвіт має свій центр скрізь, а своє коло ніде». Інакше, Всесвіт не може мати кола, тобто бути обмеженим у просторі, бо ж за цим колом

повинно міститися що-небудь ще, отже Всесвіт не має ні центра, ні кола. Всупереч Аристотелю, Микола Кузанський твердив, що стосовно речовини, з якої складається Земля і небесні тіла, «між ними немає ніякої різниці». Він твердив, що Земля – таке саме небесне тіло, як Сонце, Місяць та іншу світила, що «ні одна із зоряних ділянок не позбавлена мешканців», що «Земля насправді рухається, хоча ми цього не помічаємо, оскільки відчуваємо рух лише при порівнянні з чим-небудь нерухомим», що «кожному, хай перебуває він на Землі, на Сонці чи на якій-небудь іншій планеті, завжди буде здаватися, що він міститься в нерухомому центрі, тоді як усі останні речі навколо нього рухаються».

Лише недавно, після ознайомлення з рукописами Леонардо да Вінчі, з'ясувалося, що він був сміливим, прозорливим мислителем, астрономічні та космологічні ідеї якого значно випереджували його час. Як і Микола Кузанський, Леонардо да Вінчі вважав Землю таким же небесним тілом, як і Місяць та інші небесні світила. Леонардо обстоював погляд, що як на Землі, так і на інших небесних тілах відбуваються переходи речовини з однієї форми в іншу. Земля не міститься у центрі світу, і можливе її обертання навколо осі. Кожне світило має власний центр притягання. Саме тому Місяць «одягнений своїми елементами... і, таким чином, держиться в собі і сам собою у просторі точнісінько так, як наша Земля зі своїми елементами і в іншому просторі».

Леонардо висловив думку, що Сонце – дуже гаряче небесне тіло. Однак він вважав його єдиним джерелом власного світла, а отже воно мало б відігравати головну роль у Всесвіті як джерело будь-якої сили і самого життя. Зорі ж мали б бути численними іншими світами, подібними до Землі тим, що самі по собі вони не світяться і розсіяні «у темряві простору». Увесь Всесвіт, за Леонардо, є гігантським механізмом, що підкоряється суворим законам. Він писав: «Природа ніколи не порушує своїх власних законів. Природа керується законами, які споконвіку існують у ній самій». За два століття до сформулювання принципу найменшої дії він говорив: «О дивовижна, о чудова необхідність! Ти змушуєш своїми законами всі дії перебігати найкоротшими шляхами з їх причин».

Цікавою є думка Леонардо про те, що причиною руху є «натиск» і «сила» і що ця остання «збуджується в тілах, які від випадкової дії

вийшли зі свого природного стану і спокою». Ще перед Галілеєм він проголосив, що «вся філософія написана у тій грандіозній книзі, яка увесь час стоїть розкритою перед нашим поглядом (я кажу, – пояснював він, – про світобудову)» і що «вона написана мовою математики». Задовго до Декарта він увів «світлоносний ефір» як механічну основу звука і, як виглядає, також і світла. Усі фізичні явища, включаючи магнетизм, запахи і навіть поширення думки він вважав наслідком коливальних рухів ефіру.

Важко сказати, були відомими для інших учених – сучасників Леонардо ці його погляди чи ні. Однак, напевне, не можна погодитися з твердженнями, нібито він приховав їх від сучасників «боячись переслідувань». Вище вже було підкреслено, що твори кардинала Миколи Кузанського, в яких звучали ті ж новаторські ідеї, перевидавали декілька разів і, отже, вони були широко поширені в Європі. Іноді, здається, ми не враховуємо особливостей характеру видатних учених. Бо як, скажімо, пояснити факт, що стався 1768 р.: тоді англієць Д. Шорт, який упродовж 36 років виготовляв чудові дзеркала для телескопів, перед смертю вивів з ладу все устаткування, знищив усі креслення й рецепти, які він до того тримав у великій таємниці...

Короткі висновки:

Система світу Птолемея, базуючись на абсолютно хибних уявленнях про нерухомість Землі та про її центральне положення у світі, змогла проіснувати майже 1500 років, забезпечуючи потреби людей і в лічбі часу, і при орієнтації в просторі, зокрема на морях та океанах. Так сталося тому, що вона правильно (наскільки це можна досягти комбінацією рівномірних рухів) описувала те, що спостерігач *реально* реєстрував на небі.

У цьому проявилася відносність руху, бо ж, зокрема, епіцикл верхньої планети є насправді відображенням реального руху Землі навколо Сонця!

Таким чином, теорія Птолемея була величним завершенням першого етапу дослідження особливостей світобудови. Було з'ясовано *як рухаються* планети на тлі зір і здійснено *моделювання* цього руху. На черзі постала друга проблема: з'ясування *причини* цих рухів. І тут усвідомлення відносності руху давало змогу поставити питання передусім про логічну несумісність уявлення

«безмежний зоряний Всесвіт» (а саме так уявляв будову Всесвіту Микола Кузанський) і – «добове обертання сфери зір». Адже неможливо уявити, як могло б здійснюватися це упорядковано-погоджене обертання всіх видимих зір навколо «осі світу», що проходить через центр Землі, оскільки зорі знаходяться на різних відстанях від неї. Але і ті, хто, услід за Платоном та Аристотелем, злякавшись безконечності, обмежили світ «сферою зір», усвідомлювали: лінійні швидкості обертання окремих точок цієї сфери мали б бути фантастично великими. Значно легше було уявити, що обертається і рухається Земля.

Тож настала пора шукати причину цього руху!

ЧАСТИНА ІІІ. СТАНОВЛЕННЯ ГЕЛІОЦЕНТРИЗМУ

...наступним поколінням, які користуються апробованими відповідями на всі питання, часто нелегко оцінити, яких зусиль це коштувало їхнім попередникам.

Чарльз Дарвін

Гортаючи сторінки історії астрономії, можемо дивуватися тому, як принаймні дві тисячі років (з V ст. до н.е. і до 1543 р., тобто до виходу книги М. Коперника) людина вперто не хотіла вірити тому, що засвідчують їй її органи відчуття і про що на цій підставі їй говорив «здоровий глузд». Всупереч, здавалося б, очевидності людина сумнівалася в тому, що це весь небосхил обертається навколо Землі, як також що і Сонце з Місяцем та планетами рухається навколо неї. Навіть Птолемей (якщо вдуматися в оті його слова «Ми не повинні порівнювати людське з божественним...»), напевне, мав сумніви щодо правильності своєї моделі...

Чи не найкраще ці сумніви сформулював Сенека: «Важливо було б дослідити, чи світ обертається навколо Землі, яка залишається нерухомою, чи Земля крутиться, тоді як світ стоїть. Знаходяться люди, які твердять, що нас несе природа, а ми цього зовсім не зауважуємо, що схід і захід світил відбувається не від руху неба, а від того, що ми самі то сходимо, то заходимо відносно їхнього піднесення на небосхилі. Ця задача гідна наших розмірковувань, бо ми повинні знати, у якому стані перебуваємо: чи прирекла доля нашу Землю на вічний спокій, або ж, навпаки, вона обдарувала Землю швидким рухом; чи змусили боги всі небесні тіла кружляти навколо нас або ж ми самі навколо них обертаємося».

Так і хочеться поставити питання: невже оте знання справжньої суті «небесної механіки» допомогло б людям краще орієнтуватися у просторі чи скласти точнішу систему лічби днів, а загалом – чи зробило б їх щасливішими? То ж попри все це мусимо констатувати: живе в людині намагання з'ясувати закони світобудови. І, напевне, тому, що, як вона гадає, це полегшило б їй, людині, знайти відповідь на інше питання: «яку роль відведено їй на цій планеті?»

І ще одне мусимо констатувати: є в людини певна інтуїція, яка в поєднанні зі здоровим глуздом підводила її, зокрема, до висновку, що Земля – це лише рядова планета, яка поруч з іншими обертається навколо Сонця. Хоча докази цього руху Землі було виявлено лише 1727 р. (аберація) і 1836 р. (річні паралакси зір). Повторимось: можна дивуватися з того, що «Сфера світу» (1256 р.) Сакробоско – здавалося б, простий виклад понять сферичної астрономії та опис руху планет – стала другою (після Біблії) книгою, опублікованою друкарським способом! Як і тому, що, враховуючи переклади її майже на всі європейські мови, книгу Сакробоско упродовж декількох століть тиражували ледве не кожного року...

Епоха «від Коперника до Ньютона» в історії астрономії виділяється тим, що в цьому проміжку часу проявилось певне протистояння науки і релігії, причому не обійшлося без фізичних і моральних жертв. В цьому – історична драма християнства. Тут варто пригадати і ось ці слова російського філософа Дмитра Мережковського (1866–1941): «історичний гріх християнства в тому, що воно намаглося перетворити увесь світ на монастир». Церква упродовж століть не хотіла визнати, що Творець людину на Землі створив не для перманентного оплакування «своєї гріховної природи», а й для творчості (причому будувати величні храми, але й палаци, складати хорали, але і «світські мелодії» тощо), для якнайповнішої радості і гідного життя. Тому вона вже декілька сотень років пожинає плоди отої секуляризації – відділення, часто у протистоянні, «світського» життя (науки, мистецтва) від «духовного», яка розпочалася з настанням другого тисячоліття нашої ери.

Слід, однак, взяти до уваги, що недавні твердження про «боязнь переслідування з боку церкви», якими були переповнені біографії ряду вчених, часто не відповідають дійсності, іноді були просто наклепом...

Розділ 10. «ВІН ЗРУШИВ ЗЕМЛЮ»: КОПЕРНИК

«Він зупинив Сонце, зрушив Землю» – так написано на п'єдесталі пам'ятника Миколі Копернику (1473–1543), відкритого у Варшаві 1830 р. У цих словах засвідчено науковий подвиг, здійснений видатним ученим.

Склалося так, що (за влучним висловом польського вченого Станіслава Бжосткевича) в часи Середньовіччя теорія Птолемея була наче доповненням до євангелія, вона узгоджувалася з Біблією та відповідала християнству з його антропоцентризмом. Чи легко вдалося б у цій системі релігійного світогляду замінити геоцентричну теорію геліоцентричною? Що з цього приводу думав сам Коперник?

У передмові до книги «Про обертання небесних сфер» (інакше кажучи – у присвяті книги папі Павлові III) Коперник писав: «Наодинці сам зі собою я довго роздумував, до якої міри безглуздою моя концепція здається тим, хто на підставі судження багатьох століть вважають твердо встановленим, що Земля нерухомо розміщена в середині неба, будучи ніби його центром, як тільки вони дізнаються, що я, всупереч цій думці, тверджу про рух Землі. Тому я довго в душі коливався, чи слід випускати у світ мої твори, написані для доказу руху Землі, і чи не буде краще піти за прикладом піфагорійців та деяких інших, що передавали таємниці філософії не письмово, а з рук в руки, і лише рідним та друзям, як про це свідчить послання Лісида до Гіппарха... Коли я все це зважував у своєму розумі, то боязнь презирства за новизну і безглуздя моїх думок ледве було не спонукала мене відмовитися від продовження задуманого твору.

Але мене, що довго зволікав і навіть проявляв небажання, зрушили мої друзі..., видатні і найученіші люди, які вмовляли мене не зволікати більше і не боятися обнародувати мою працю для загальної користі тих, хто займається математикою. Вони казали, що чим безглуздішим тепер здається багатьом моє вчення про рух Землі, тим більше воно видається дивним і заслужить подяки після видання моїх творів, коли темрява буде розсіяною яснішими доказами».

Згадуючи піфагорійців, Коперник тим самим засвідчує, що йому були відомі їхні погляди (тисячорічної давності!). Напевне, знав він і про ідеї Аристарха Самоського та Архімеда, як і багатьох інших, давніх і сучасних йому авторів. Бо ж, скажімо, про геліоцентричну систему мовиться у творі Марка Тулія Ціцерона «Сон Сципіона» (підпилого та вимученого мандрівкою Сципіона духи предків переносять у надмісячний світ, де він знайомиться із будовою світу: «посередині знаходиться Сонце»), і в творі Марсіліо Фічіно (1433–1499) «Про Сонце і світло», де вказується, що Сонце є символом Бога, що воно було створене найперше і знаходиться у центрі неба. Зрештою,

Коперник прямо таки не міг не читати працю Миколи Кузанського «Про вчене незнання»...

Ні з передмови, ні з інших місць твору Коперника не видно, *що* думав він про «більшу придатність» геоцентричної моделі світу для релігійного світогляду. Але можна здогадуватися, що як людина глибоко релігійна, він міг бути переконаним у тому, про що згодом папа Урбан VIII сказав Галілеєві: «Всемогутній Бог може досягати своєї мети нескінченною множиною шляхів», тобто Він міг створити світ так, щоб світила оберталися навколо Землі, але і так, щоб Земля рухалася навколо Сонця!

§ 1. Найголовніші етапи життя

Микола Коперник народився у м. Торуні в сім'ї багатого купця. З десяти років, після смерті батька, він виховувався у свого дядька, майбутнього єпископа Луки Ватцельроде, високоосвіченої і талановитої людини. Спочатку Коперник навчався у Краківському університеті, згодом (з осені 1496 р.) близько восьми років пробув в Італії. Там він одержав ступінь доктора канонічного права і там-таки розпочав наукові астрономічні дослідження.

Астрономією Коперник зацікавився, ще перебуваючи у Кракові, де в університеті її читав відомий професор Войцех Брудзевський (1445–1497), який закликав своїх учнів йти далі простого засвоєння давньої науки. Цьому, мабуть, сприяв і той час, що був багатим на астрономічні явища. Так, наприклад, у січні 1492 р. спостерігали комету, 1493 р. – три затемнення (одне сонячне і два місячні). Того самого року мешканці Кракова бачили ще одне рідкісне явище – світле коло (гало) навколо Сонця, розділене навхрест двома яскравими смугами. То ж, їдучи до Італії, Коперник захопив з собою «Таблиці» Регіомонтана, «Альфонсові таблиці», «Елементи» Евкліда і трактат з астрології.

В Італії Коперник дуже швидко став не лише учнем, а й помічником викладача Болонського університету астронома Доменіко Новари (1452–1504). Так, наприклад, уже 9 березня 1497 р. вони спільно провадять спостереження покриття Місяцем (який був у фазі першої чверті) зорі Альдебаран (α Тельця). Унаслідок цих спостережень Новара і Коперник дійшли висновку, що відстань до Місяця практично однакова незалежно від його фази. З теорії ж Птолемея

впливало, що під час квадратур Місяць перебуває удвічі ближче до Землі, ніж в моменти нового або повного Місяця, а отже, його видимий діаметр (і тривалість затемнення зорі) мав би бути у стільки разів більший. Чи не тоді вже у Коперника виникло бажання серйозно переглянути всю теорію Птолемея? І чи не тому він так наполегливо провадив астрономічні спостереження протягом усього часу перебування в Італії, хоча мав пряме завдання: вивчити право і медицину...

У 1503 р. Коперник зі ступенем доктора канонічного (церковного) права повернувся на батьківщину та приступив до своїх обов'язків каноніка Вармійської єпархії. Ця територія, розташована на тодішніх межах Польщі і Тевтонського ордену, мала права напівсамостійного церковного князівства. Тут Коперник виявив, зокрема, високу активність як громадянин, відстоюючи інтереси своєї батьківщини від зазіхань рицарів-хрестоносців. У 1520 р. він успішно керував обороною фортеці Ольштин. Коперник турбувався про зміцнення економічного стану єпархії, а як вправний фахівець подавав медичну допомогу населенню навколишніх сіл. Він також написав декілька трактатів про монети, зокрема 1528 р. «Міркування про чеканку монет» – першу наукову роботу про гроші, в якій сформулював важливий економічний закон, що звучить так: монети гіршої якості витісняють з ужитку монети з вищим вмістом благородних металів. Коперник тоді ж запропонував ввести єдину грошову систему у всій державі.

Більшу частину свого життя Коперник провів у невеликому містечку Фромборк, у «найвіддаленішому закутку Землі», як він сам його називав. Тут в одній із башт оборонного муру, що оточував кафедральний собор, він обладнав робочий кабінет, а поруч на вершині іншої башти – майданчик, місце для астрономічних спостережень.

Мало сказати, що, перебуваючи у Фромборку, Коперник заглиблювався у роздуми над законами світобудови. Бо ж одних лише роздумів було б замало, щоб «зупинити Сонце і зрушити Землю». Ученому довелося в деталях освоїти всі «тонкощі» системи Птолемея, здійснити величезну кількість громіздких обрахунків, пов'язаних, головним чином, із розв'язуванням трикутників. Він не просто висловив нові погляди на будову світу, а й математично обґрунтував їх. Коперник довів, що всю сукупність спостережень планет легше пояснити, ставши на точку зору, що Земля є рядовою планетою, яка разом з іншими планетами обертається навколо Сонця.

«Малий коментарій». Основні ідеї нового геліоцентричного погляду на світобудову Коперник виклав у невеликому (на 12 сторінок) «Коментарію про гіпотези небесних рухів» – «*De hypothesisibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus*», який не був надрукований, а поширювався в рукописних копіях. Про нього згадував Тіхо Браге у своїй книзі «Вступ до оновленої астрономії» (1603 р.), сам же рукопис знайдено наприкінці минулого століття у книгозбірнях Відня (1877 р.) та Стокгольма (1831 р.). Щодо часу написання Коперником цієї праці у фахівців немає одностайної думки. Це сталося десь 1505–1507 р. але принаймні не пізніше 1512 р. Польський учений Людвік Антонін Біркенмайер (1885–1929) висловив припущення, що ця праця Коперника з'явилася не раніше 1502 р., але до 1514 р., оскільки вона є в списку книг одного з професорів Краківської академії, складеному у згаданому році. Існує також думка, що він («Коментарій») був складений значно пізніше – між 1520 і 1530 роками, бо якраз до 30-х років відноситься «резонанс» навколо вчення Коперника – різкі нападки на нього. Так, весною 1531 р. у сусідньому з Фромборком містечку Ельблонгу поставлено комедію «Розумний дурень», автором якої був голландець Вільгельм Гнафей. У комедії зроблено спробу висміяти Коперника і його вчення про рух Землі навколо Сонця. Не виключене, що це була помста за виступ Коперника на сеймику в Ельблонгу наприкінці жовтня 1530 р., на якому він вимагав точно встановити вміст золота і срібла в монетах, що тут чеканили в монетарні...

Головними у «Коментарі» є сім аксіом чи вимог. Ось вони:

Перша вимога. Не існує єдиного центра для всіх небесних орбіт або сфер.

Друга вимога. Центр Землі не є центром світу, а лише центром тяжіння і центром місячної орбіти.

Третя вимога. Усі сфери рухаються навколо Сонця, яке розташоване наче всередині всього, так що поблизу Сонця є центр світу.

Четверта вимога. Відношення, яке відстань між Сонцем і Землею має до висоти небесної тверді, менше за відношення радіуса Землі до її відстані до Сонця, так що порівняно з висотою тверді вона буде навіть невідчутною.

П'ята вимога. Усі рухи, що їх зауважуємо на небесній тверді, належать не їй самій, а Землі. Саме Земля з найближчими до неї стихіями

вся обертається в добовому русі навколо незмінних своїх полюсів, причому твердь і найвище небо залишаються увесь час нерухомими.

Шоста вимога. Усі зауважувані нами у Сонця рухи не є властивими йому, але належать Землі і нашій сфері, разом з якою ми обертаємося навколо Сонця, як і кожна інша планета; таким чином, Земля має декілька рухів.

Сьома вимога. Видимі прямі і назадні рухи планет належать не їм, а Землі. Таким чином, один цей рух є достатнім для пояснення великої кількості видимих в небі нерівномірностей».

Слабким місцем «Коментаря» (і, як ще скажемо далі, трагічним для Коперника як вченого) було те, що, розробляючи нову систему світу, Коперник переніс до неї із системи Птолемея уявлення про рівномірний коловий рух планет, поняття про ексцентричні орбіти та епіцикли. Його «Малий коментарій» закінчується словами: «Таким чином, Меркурій рухається за допомогою усього семи кіл, Венера – за допомоги п'яти, Земля – за допомогою трьох, а Місяць навколо неї – за допомогою чотирьох; нарешті Марс, Юпітер і Сатурн – за допомогою п'яти кіл кожен. Таким чином, для Всесвіту буде достатньо 34 кіл, за допомогою яких можна пояснити увесь механізм світу і всю хорею планет...»

КОПЕРНИК І ЦЕРКВИ. У літературі є згадки про те, що ворожу позицію щодо Коперника зайняла протестанти, зокрема сам Лютер у «Застольних бесідах» (1539 р.) нібито сказав: «Розповідають про нового астролога, який хоче довести – Земля рухається і обертається навколо себе, а не небо, не Сонце і не Місяць... Та тут справа ось у чому: якщо хтось хоче бути розумним, то повинен вигадати щонебудь своє власне і вважати найкращим те, що він вигдав. Дурень хоче перевернути догори усе мистецтво астрономії. Але, як вказує святе Письмо, Ісус Навін звелів зупинитися Сонцю, а не Землі». У зв'язку з цим слід зауважити, що «Застольні бесіди» Лютер не писав. Запис же розмов, які вели за трапезою, робив таємно, з пам'яті, один із старанних учнів Лютера. Упродовж декількох століть вони були невідомими, їх опубліковано лише в нашому столітті.

Відомо, що сподвижник Лютера Філіп Меланхтон (1497–1560), ідеолог лютеранства, в 1541 р. висловився критично про теорію Коперника: «Очі переконують нас у тому, що небосхил обертається навколо нас за 24 години. Проте деякі, мабуть, підкорюючись

пристрасті до новизни або бажаючи показати свою геніальність, проповідують вчення про рух Землі... Хоча дотепні писаки придумали багато для демонстрації свого генія, проте публічне підтвердження беззмисловних теорій є непристойним і подає шкідливий приклад».

Проте можна стверджувати, що в цей час протестанти ставилися до вчення Коперника цілком лояльно. Зокрема, Меланхтон рекомендував своїм нюрнберзьким друзям надрукувати книгу Коперника. Він же переконав віттенберзького астронома Еразма Рейнгольда (1511–1553) обчислити нові таблиці положень планет, базуючись на теорії Коперника. Згодом він взагалі припинив свої нападки на геліоцентричну систему, можливо, цьому сприяло ближче знайомство з самою книгою Коперника.

У 1533 р. учений, знавець культури східних народів Йоганн Альберт Відманштадт доповів про суть теорії Коперника папі Клименту VII. За це, як вираз подяки, він отримав від папи рукописний грецький кодекс, що зберігається зараз у Мюнхенській бібліотеці. На ньому є такий напис: «Климент VII, папа римський... подарував мені цей кодекс у Римі в 1533 р., після того як я у ватиканському саду в присутності кардиналів Ф. Урсинуса, Й. Сальвіаті, єпископа Вітербіанського Петра і Матвія Курціуса, медика-природознавця, пояснив йому теорію Коперника про рух Землі».

Відомо, що папа Климент VII, як і його дядько Лев X, був освіченою людиною, займався поезією і наукою. Імовірно, що в цей час при папському дворі могли притримуватися думки про символічне тлумачення певних місць Біблії, як це робив, наприклад, Оріген. У 1534 р. папою став Павло III, який започаткував епоху реакції. Проте 1536 р. кардинал Микола Шонберг – найближчий дорадник папи – написав Коперникові листа, що розпочинався словами: «Миколе Коперникові привіт. Коли декілька років тому всі лише й знали, що розповідали мені про твої незвичайні обдарування, я відчув до тебе глибоку повагу і поділився своєю радістю зі своїми земляками, серед яких ти користуєшся такою славою. Я дізнався, що ти не лише чудово знаєш твори давніх астрономів, але й сам придумав нову теорію світобудови. У своїй теорії ти вчиш, що Земля рухається, Сонце знаходиться у центрі Всесвіту, восьме небо нерухоме і вічно перебуває у спокої. Місяць із Землею і ув'язненими в земній сфері стихіями розташовані між Марсом і Венерою і протягом року

здійснюють оберт навколо Сонця. Понад це ти пояснив своїми доказами теорію астрономії і склав таблиці рухів небесних тіл, які спричинили загальне захоплення. Тому Ти, найвченіший із мужів, якщо лише моє прохання не буде для Тебе обтяжливим, я наполегливо прошу Тебе, щоб Ти поділився усіма своїми відкриттями з любителями науки і якнайшвидше вислав мені свої роздуми про систему світу разом з таблицями й усім, що належиться. Я попросив Теодора Редена, щоб усі матеріали були переписані за мій рахунок і вислані мені. Якщо Ти виконаєш це моє побажання, то побачиш, що маєш справу з людиною, яка турбується про Твоє ім'я і яка бажає віддати належне Твоїм видатним обдаруванням. Бувай здоровий. Писано в Римі, дня 1 листопада 1536 р.» (Є. Рибка, П. Рибка, 1973).

В тому ж, 1536 р., холмський єпископ Тідеман Гізе написав трактат, в якому виступив на підтримку теорії Коперника.

Як можна думати, причина цієї зацікавленості теорією Коперника в тому, що церкві вкрай необхідно було здійснити реформу календаря. Історія цього питання така. На Никейському церковному соборі 325 р. встановлено святкувати найважливіше християнське свято – пасху – у першу неділю після першої весняної повні (тобто повні, що настала після весняного рівнодення), отже – через один – сім днів після єврейської. Коли це приймали, весняне рівнодення припадало на 21 березня, і Отці церкви, мабуть, думали, що так воно буде і в майбутньому. Але середній юліанський календарний рік з $365\frac{1}{4}$ днями на 0,0078 доби довший за справжній тропічний рік. Тому за кожні 128 років весняне рівнодення припадало в юліанському календарі на один день раніше і близько 1512 р. – року початку роботи Латеранського собору, – вже на 11 березня. Проте дотримуючись правил Никейського собору, весняними повнями вважалися не ті, що наставали зразу після 11-го, а після 21-го березня.

Внаслідок цього в окремі роки християни святкували пасху на чотири–п'ять тижнів після єврейської, обчислення дати якої здійснюють на основі складного, але дуже точного місячно-сонячного календаря. Це давало євреям, що проживали в багатьох містах Європи привід для насмішок: «Як це так, що ви не вмієте визначати дату свого найголовнішого свята? Вам вже, скажімо, давно належить постити; а ви все ще їсте м'ясо!»

Ось чому проблему календарної реформи обговорювали на Базельському (1437 р.), Латеранському (1512–1517 рр.) і Тридентському (1545–1563 рр.) церковних соборах. Зокрема, під час Латеранського собору церква звернулася до вчених багатьох країн з проханням взяти участь в роботі з реформи календаря. Відповідь Коперника на цей заклик не збереглася, за деякими даними, у ній було висловлено твердження, що провести таку реформу важко, оскільки все ще не встановлено достатньо точно тривалість тропічного року.

Однак після виходу в світ книги Коперника, після того, як Рейнгольд у 1551 р. склав на основі теорії Коперника «Прусські таблиці небесних рухів» (вони були перевидані 1571 і 1584 рр.), вже можна було розглядати проблему календаря конкретніше, що й сталося: 1582 р. папа Григорій XIII здійснив календарну реформу, увів «новий стиль».

Чого боявся Коперник? Роботу над своєю працею «Про обертання небесних сфер» Коперник, очевидно, закінчив 1532 р. Опублікував же він її після наполегливих умовлянь своїх друзів і палких прихильників лише через одинадцять років. Чому? У зв'язку з цим подекуди висловлювали припущення, нібито Коперник боявся переслідувань з боку церкви або ж, як дуже скромна людина, не хотів розголосу, пов'язаного з його іменем.

Однак, як вже сказано вище, усі його безпосередні церковні керівники буквально змушували публікувати книгу якнайскоріше. Так, переслідування ідей Коперника були, але їх розпочато майже століттям пізніше. Найімовірніше, головним було інше. Адже Коперник, розташувавши у центрі світу Сонце, зберіг уявлення давньогрецьких філософів про рівномірний коловий рух планет. Водночас він відмовився від ідеї «вирівнювальної точки» і для пояснення усіх нерівномірностей руху Землі, Місяця і планет використав епіцикли, які, як і раніше, нагромаджувалися один на одного. Тож можна думати, що, як справжній учений, Коперник інтуїтивно відчував, що його модель світу переобтяжена «зайвими деталями», що в окремих своїх пунктах вона просто неправильна. Напевне, ця думка і стримувала його від публікації книги... Спеціальний посланець привіз її із Нюрнберзької друкарні 70-річному важко хворому Коперникові в самий день його смерті, 24 травня 1543 р...

§ 2. «ПРО ОБЕРТАННЯ VI КНИГ»

Епіграфом до книги «Миколи Коперника Торунського про обертання небесних сфер шість книг» її автор узяв напис, що був на дверях Академії Платона: «Хай не входить ніхто, хто не знає геометрії». І це справді так. Без ґрунтового знання геометрії цю книгу читати важко.

Однак її перші рядки зрозуміє кожен: «Серед численних та різноманітних занять науками і мистецтвами, які живлять людські уми, я вважаю, у першу чергу треба віддаватися і найвищу старанність присвячувати тим, які стосуються найпрекрасніших та найдостойніших для пізнання предметів. Такими є науки, що вивчають божественні обертання світу, течії світил, їхні величини, відстані, схід і захід, а також причини інших небесних явищ і, нарешті, пояснюють всю форму Всесвіту. А що може бути прекраснішим від небосхилу, який вмішує все прекрасне?»

Вихідні принципи. За своєю будовою книга Коперника дуже подібна до «Альмагеста». У ній передовсім Коперник стверджує, що світ сферичний «або тому, що ця форма серед інших має найбільшу місткість», або ж тому, що таку форму, як ми зауважуємо, мають і окремі частини світу, а саме – Сонце, Місяць і зорі, або ж тому, що такою формою намагаються обмежити себе усі предмети, як це ми бачимо у водяних крапель...» Далі, після розділів Книги I «Про те, що Земля також сферична» та «Про те, що рух небесних тіл вічний, рівномірний і коловий або складений з колових рухів», йде розділ «Про те, чи властивий Землі коловий рух, та про місце Землі». У ньому Коперник написав таке:

«Більшість авторів згідні з тим, що Земля перебуває у спокої в центрі світу, так що протилежну думку вони вважають недопустимою і навіть вартою осміяння. Проте якщо ми розглянемо справу уважніше, то виявиться, що це питання ще не вирішене остаточно, і ним ніяк нехтувати не можна.

Справді, будь-яка уявна зміна місця відбувається внаслідок руху спостережуваного предмета або спостерігача, або, нарешті, внаслідок неоднаковості пересування того й того... Таким чином, якщо ми надаємо Землі який-небудь рух, то цей рух виявиться таким самим і в усьому, що перебуває поза Землею, лише тільки у протилежний бік... А якщо допустити, що небо взагалі не має такого руху, а обертається з заходу на схід Земля, то кожен, хто це серйозно

обдумає, знайде, що всі видимі сходи і заходи Сонця, Місяця і зір будуть відбуватися так само. Оскільки саме небо все вміщує та прикрашає і є загальним вмістилищем, то не зразу видно, чому ми повинні приписувати рух швидше тому, що вміщає, ніж вміщеному, тому, що держить, ніж тому, що держиться...»

Заперечуючи Птолемеєві та Аристотелеві, за якими внаслідок руху Землі вона зруйнувалася б, а все з її поверхні зміщувалося б на захід, Коперник запитує: «Але чому ж не допускати цього у ще більшій мірі відносно Всесвіту, рух якого має бути у стільки разів більшим, у скільки разів небо більше від Землі..? Швидше необхідно припустити, що рухомість Землі цілком природно відповідає її формі, ніж думати, що рухається увесь світ, межі якого невідомі і неосяжні».

І нарешті: «Таким чином, оскільки ніщо не перешкоджає рухомості Землі, то я покладаю, що треба розглянути, чи не може вона мати декілька рухів, так щоб її можна було вважати однією з планет. Справді, що вона не є центром для всіх обертань, виявляється і нерівномірним видимим рухом планет і мінливістю їхніх відстаней до Землі, що не може бути пояснене у припущенні гомоцентричного з Землею кола. Отже, оскільки існує декілька центрів, не буде легковажним подумати також і про центр світу, чи збігається він з центром земного тяжіння, чи ні. Що стосується мене, то я вважаю, що тяжіння є не що інше, як деяке природне устремління, надане частинам божественним провидінням Творця Всесвіту, щоб вони прагнули до цілісності та єдності, збігаючись у форму кулі. Цілком можливо, що ця властивість притаманна також Сонцю, Місяцю та решті блукаючих світил, щоб при її дії вони продовжували перебувати у своїй кулястій формі, здійснюючи тим не менше різні колові рухи.

Отже, якщо і Земля здійснює інші рухи, наприклад навколо центра, то ці рухи конче повинні бути такі самі, які зауважуються ззовні і в інших планет; серед цих рухів ми знаходимо річне обертання. Тому якщо ми переробимо цей рух з сонячного на земний і погодимось, що Сонце нерухоме, то сходи і заходи знаків зодіаку і нерухомих зір, коли вони стають то ранковими, то вечірніми, будуть здаватися нам такими ж. Так же стояння, назадні і прямі рухи планет здаватимуться нам приналежними не їм, а такими, що відбуваються від руху Землі, який вони запозичують для своїх видимих рухів. Нарешті, саме Сонце будемо вважати таким, що займає центр світу;

у всьому цьому нас переконує розумний порядок, в якому йдуть одне за одним усі світила, і гармонія усього світу, якщо лише ми захочемо глянути на справу обома (як кажуть) очима».

Доречно підкреслити, що всі подальші математичні докази Коперник побудував у припущенні, що складні рухи планет, які періодично повторюються, складені з колових рухів, «оскільки нерівності цього типу підлягають певному закону і періодично повторюються, чого не могло б трапитися, коли б рухи небесних тіл не були коловими... [Бо] лише коло має ту здатність, що може повертати минуле».

Розділ VI Книги I має назву «Про незмірність неба у порівнянні з розмірами Землі». Коперник пише: «Спостереження показують, що горизонт ділить небо пополам», а звідси випливає, що «Земля хоча й велика, то все ж не йде ні в яке порівняння з неохопністю неба... Небо невимірно велике в порівнянні з Землею і є чимсь нескінченно більшим. Якщо вірити нашим відчуттям, то Земля перебуває до неба в такому ж відношенні, в якому точка перебуває до тіла і скінченне до безконечного. Нічого іншого, а тим більше висновку про те, що Земля повинна непорушно перебувати в центрі світу, з нашого міркування не випливає. Навпаки, було б дуже дивним, якби за двадцять чотири години величезний Всесвіт здійснював повний оберт, а його нікчемна частина, якою є Земля, залишалася б на місці».

Бо якщо добовий рух небесної сфери обумовлений обертанням самої Землі з заходу на схід, то немає необхідності приписувати зорям, усій «небесній тверді» величезні швидкості, які їм були б необхідні для цього руху, а отже – можна віддалити ці зорі на як завгодно великі відстані від Землі. Звідки висновок: «Таким чином, наведені міркування доводять лише, наскільки безконечно великими є розміри неба порівняно з розмірами Землі. Наскільки ж далеко простягається ця неохопність, нам невідомо».

У найважливішій частині цієї книги – у розділі X «Порядок небесних сфер» Коперник описує розташування планет у їхньому русі навколо Сонця, починаючи з найдалшої: Сатурн, Юпітер, Марс, Земля з Місяцем, Венера і Меркурій (рис. 3. 1). «Посередині всього знаходиться Сонце. Справді, де ще в такому пречудовому храмі можна було б інакше і більш вдало розмістити цей світильник, як не в тому місці, звідки він може освітлювати одночасно все?.. Адже Сонце і справді, наче возсідаючи на царському троні, керує

сім'єю планет, що обертається навколо нього...» І далі: «Таким чином, у розташуванні планет ми знаходимо дивовижну співрозмірність світу і зв'язок між рухом та розмірами орбіт, яку іншим способом виявити неможливо».

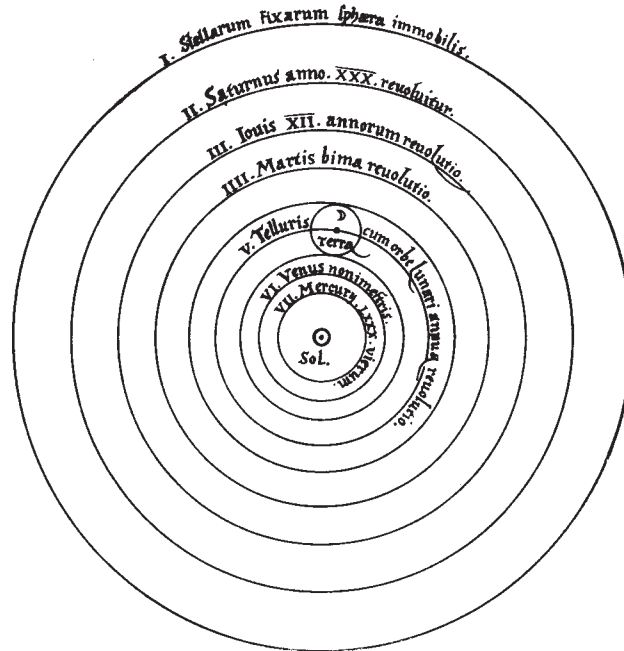


Рис. 3. 1. Система світу Коперника (з книги «Про обертання...»).

Коперник дав абсолютно правильне пояснення особливостей видимих рухів планет – їхнього прямого і назаднього переміщення на небесній сфері: Земля у своєму русі навколо Сонця доганяє і переганяє верхні планети (Марс, Юпітер, Сатурн), і її ж переганяють нижні планети (Меркурій та Венера), обумовлене це різними кутівими швидкостями їхнього руху.

У розділі XI Книги I Коперник описує три рухи Землі: 1) добовий рух у напрямі з заходу на схід, 2) річний рух навколо Сонця у площині екліптики також з заходу на схід і 3) деклінаційний річний рух, точніше, обертання, протилежне річному обертанню. Адже Коперникові необхідно було пояснити, чому при русі Землі навколо Сонця вісь її добового обертання залишається завжди паралельною сама собі.

Не знаючи ще механічного закону інерції, Коперник вважав, що без такого руху вісь Землі завжди складала б один і той же кут з прямою, що з'єднує Землю з Сонцем, так що Земля була б увесь час повернута до Сонця одним і тим же полюсом.

На закінчення XI розділу Книги I Коперник пише: «Ми пригадали коротко усі відомості з натуральної філософії, які необхідні як принципи і гіпотези для нашого викладу... і на цьому, як на фундаменті, хочемо збудувати всю науку про зорі».

Далі, як і в «Альмагесті», йде виклад основ тригонометрії, «таблиця хорд у колі» (тобто синусів), причому за радіус кола прийнято число 100 000.

У Книзі II, яка складається з 14 розділів, обговорено різні питання сферичної астрономії: явища, пов'язані з добовим обертанням небесної сфери, перетворення різних систем небесних координат світил, пояснено явища рівнодень і сонцестоянь, сходу і заходу зір; описано інструменти, за допомогою яких астрономи з часів Птолемея проводили спостереження. Тут же вміщено каталог 1024 зір. Це фактично каталог Птолемея, але довготи в ньому відлічено не від точки весняного рівнодення, а від зорі γ Овна. Коперник намагався скласти каталог, при користуванні яким не було б потреби враховувати прецесію і, як її наслідок, – неперервну зміну екліптичних довгот усіх зір.

Рух Сонця і Місяця. У Книзі III Коперник виклав розроблену ним теорію руху Сонця – його видимого річного переміщення на небесній сфері. Тут привертає увагу спадкоємність астрономічних спостережень, виконаних з інтервалом майже 2000 років: розглядаючи питання про прецесію, Коперник наводить дані спостережень своїх далеких попередників. Так, «в 30-му році після смерті Александра Великого александрієць Тимохар... вказав, що Колос... був віддалений від точки сонцестояння на 82 градуси з третиною... А Гіппарх... у 196 році після смерті Александра знайшов, що зоря, названа Регулом, йде вслід за літнім сонцестоянням на відстані $29\frac{1}{2}$ і одної третини градуса... Менелай... у 99-му від Р.Х. і 422-му після смерті Олександра вказав, що Колос Діви віддалений по довготі від сонцестояння на 86 градусів з четвертиною... Птолемеєм в 462-му після смерті Александра визначив, що Регул... віддалений на $32\frac{1}{2}$ від літнього сонцестояння... На 1202-му році після кончини Александра було спостереження Альбатегнія... Виявилось, що в цьому році Регул

дійшов... до 44 градусів 5 мінут від сонцестояння... Ми в 1525-му році від Р. Х., який був 1849-им єгипетським роком після смерті Александра...». І далі подано розрахунки, за якими відстань зорі Спіки (Колос) від точки осіннього рівнодення дорівнює $17^{\circ}21'$. Так Коперник встановив, що прецесійний рух точки весняного рівнодення є $50,26''$ (істинне значення для його часу – $50,17''$). Однак оскільки при визначенні прецесії Птолемей зробив помилку, то розвинута Коперником теорія нерівномірності прецесії була також помилковою.

Тут же Коперник встановив величину ексцентриситету земної орбіти, тривалість тропічного року (що перевищував справжнє значення для його епохи на 29 с) і положення апогею земної орбіти. Щоб пояснити всю сукупність спостережень, включаючи зміщення точки апогею, Коперник допустив, що центр орбіти Землі не збігається з центром Сонця, а обертається з періодом 3434 роки навколо деякої фіктивної точки, яка, у свою чергу, робить один оберт навколо Сонця за 50 000 років.

Для моделювання ж обертання Місяця навколо Землі Коперник добрав систему трьох колових рухів: деферент, центр якого збігається

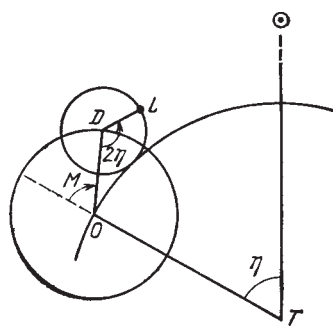


Рис. 3. 2. Рух Місяця за Коперником.

з центром Землі, великий і малий епіцикли, діаметри яких відносяться як 1097 до 237 (тобто як 4,63 : 1). Центр великого епіцикла обертається по деференту, як і звичайно, проти годинникової стрілки, здійснюючи один оберт за 29 діб 31 перших, 50 других 8 третіх, 9 четвертих і 20 п'ятих шістдесятих частин доби (усе це дано у шістдесятковій системі, оскільки Коперник ще не знав десяткових дробів). Центр малого епіцикла обертався за той же час за годинниковою стрілкою, а

сам Місяць рухався на малому епіциклі проти годинникової стрілки з удвічі більшою кутовою швидкістю, так що за синодичний місяць здійснював на ньому два оберти (рис. 3. 2).

Завдяки цьому середній кутовий діаметр Місяця змінювався в межах від $28,8'$ до $37,6'$ (фактично ці межі становлять $29,4'$ і $33,5'$), тоді як у Птолемея – від $31,6'$ до $60,4'$. Тут же описано теорію

сонячних та місячних затемнень і вже згадані в «Альмагесті» методи визначення відстаней до Місяця і Сонця.

ТЕОРІЯ РУХУ ПЛАНЕТ. В останніх двох Книгах (V і VI) Коперник виклав теорію руху планет навколо Сонця, причому у П'ятій – їхній рух по довготі, у Шостій – по широті. За Коперником, видимий рух планет складається з двох незалежних один від одного рухів: «Один із цих рухів є наслідком руху Землі, другий для кожної планети є власним. Перший ми не без підстави вирішили назвати паралактичним рухом; це той самий рух, який у всіх планет створює стояння, прямі й назадні рухи. Він відбувається не тому, що планета, яка рухається завжди власним рухом вперед, втягувалася б так у різні боки, а тому, що це лише так нам здається внаслідок створюваного рухом Землі зміщення, яке залежить від відмінностей у поясненні та величині планетних орбіт».

Тут же Коперник уперше ввів поняття «власного річного руху» планети, тобто зміщення планети стосовно фону далеких зір у системі координат, пов'язаній з центром Сонця. Повний період обертання планети навколо Сонця було названо її сидеричним періодом обертання T . Для Землі $T_{\oplus} = 365,26$ доби. Для інших планет сидеричний період визначається за формулою $\frac{1}{T} = \frac{1}{T_{\oplus}} \pm \frac{1}{S}$, де S – синодичний період обертання, причому знаки «плюс» і «мінус» стосуються відповідно нижніх і верхніх планет. Так, зокрема, для Сатурна $S = 378,1$ доби, а $T = 29,46$ року. Звідси випливає, що за один рік середнє зміщення Сатурна серед зір становить 12° . У книзі Коперника ми і знаходимо відповідне значення «середнього сидеричного руху» планет, зокрема Сатурна, за один єгипетський рік, рівний 365 дням: $43966,2''$, його сучасне значення $43966,1''$. Так же точно визначено «середній сидеричний рух» і для інших планет. Однак слід відмітити, що жодної формули в книзі Коперника немає – наведено лише результати у вигляді конкретних чисел! Для їх встановлення, як і при вивченні особливостей видимого руху Сонця, використано спостереження протистоянь планет, проведених самим Коперником і «спостережувані Птолемеєм в час імператора Адріана».

Видатним досягненням Коперника було те, що він уперше, і то з дуже високою точністю, встановив відстані планет до Сонця,

приймавши за одиницю виміру відстань від Землі до Сонця (яку згодом названо астрономічною одиницею – а. о.), як це видно з табл. 4.

Таблиця 4

Відносні відстані планет від Сонця
(за Птолемеєм це значення δ для нижніх і $1/\delta$ для верхніх планет)

Планета	Відносні відстані		
	За Коперником	За Птолемеєм	сучасні значення
Меркурій	0,376	0,376	0,387
Венера	0,720	0,720	0,723
Земля	1,000	1,000	1,000
Марс	1,520	1,520	1,524
Юпітер	5,217	5,208	5,203
Сатурн	9,184	9,259	9,540

Варто підкреслити: Коперник встановив *відносні* масштаби Сонячної системи! Бо ж середню відстань Землі від Сонця він, услід за Птолемеєм, приймав рівною усього 1197 радіусів Землі.

Подивимося ж, як Коперникові вдалося встановити ці відносні масштаби Сонячної системи. Отже, передовсім, він «надав» кожній планеті ексцентричну орбіту, по якій центр епіцикла протягом сидеричного періоду здійснює один оберт проти годинникової стрілки. Сама планета обертається по епіциклу за цей самий період і в цьому ж напрямку. На відміну від Птолемея, Коперник визначив радіус епіцикла у такий спосіб. Нехай a – радіус орбіти планети, e – ексцентриситет. Коперник розташовував центр орбіти Землі на відстані $4/3 ae$ від центра орбіти планети, а радіус епіцикла приймав рівним $1/4 ae$. Приймалося, що Сонце міститься в центрі земної орбіти.

Для визначення відстані планети від Сонця треба було насамперед встановити (на підставі спостережень) напрям лінії апсид і величину ексцентриситету e орбіти планети. Для цього Коперник використовував по три спостереження, здійснені з інтервалом у декілька років. Моменти цих спостережень обиралися так, щоб планета перебувала у протистоянні до Сонця. Знаючи середню швидкість руху планети навколо Сонця (наприклад, для Сатурна вона рівна $12^{\circ}12'46''$ за рік) та час, що проминув між двома спостереженнями, Коперник обраховував положення «середньої» планети відносно Сонця, покладаючи спочатку, що воно розташоване у центрі орбіти планети. Далі, зіставляючи розрахунки зі спостереженнями, можна визначити як

величину ексцентриситету e , так і положення лінії апсид. Досягається це розв'язуванням декількох трикутників.

Ось приклад того, як Коперник встановив відстані до планет (рис. 3. 3). Нехай коло ANP з центром у точці O – ексцентр верхньої планети, коло iTh – земна орбіта, C – її центр, зміщений відносно O на $\frac{3}{4}ae$, A – афелій. Проведемо прямі ON та CN і опишемо навколо N коло радіусом $\frac{1}{4}ae$. Точка P на цьому колі зображає положення планети, причому кут ONP дорівнює куту NOA . Останній же стає відомим, як тільки проведено обчислення рівномірного руху «середньої» планети для моментів трьох спостережень і встановлено положення точки A («верхньої апсиди»).

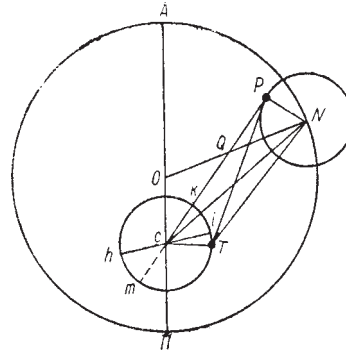


Рис. 3. 3. До встановлення Коперником відстаней до верхніх планет.

Проведемо тепер через центр земної орбіти паралельно напрямку ON пряму hi . Таким чином, відносно планети P точка i земної орбіти буде перигеєм (найближчою), точка h – апогеєм (найдалшою). Положення точки T (Землі) на орбіті (тобто кут hCT , так звану паралактичну аномалію планети) встановлюють шляхом розрахунку положень «середнього» Сонця. Проведемо тепер прямі PT та NT і розглянемо трикутник ONC . Тут кут AON відомий з обчислень, тим самим відомий також кут NOC , як його доповнення до 180° . Оскільки ж сторона $ON = a$ (це відстань планети від центра ексцентричної орбіти), а $OC = \frac{3}{4}ae$, то неважко обрахувати і CN – сторону, що лежить проти відомого (тут – тупого) кута трикутника. Дальшим розв'язанням трикутника встановлюємо також величину кута CNO і, тим самим, кута CNP .

Тепер переходимо до розгляду трикутника PNC , у якому відомі сторони PN і CN та кут PNC . Це дає змогу обрахувати сторону PC і знайти кут NCP . З трикутника NCQ знаходимо, що кут PQN дорівнює куту OQC та дорівнює сумі кутів ONC і NCP . Таким чином знайдено різницю («простаферез») між середнім (кут AON) та справжнім (кут ACP) положенням планети стосовно центра земної орбіти. Інакше кажучи, під кутом ACP було б видно планету, якби спостереження проводилися з центра земної орбіти. Насправді ж їх

проведено з точки T . Різниця між обчисленою та спостережуваною кутовою відстанню планети від точки A і дає величину кута паралактичного зміщення CPT .

Далі завдання полягає в тому, щоб знайти кут PCT . Скористаємося передовсім з того, що пряма ON паралельна hi , а кут OQC дорівнює куту hCm . Вся дуга kTm становить 180° , кут hCT відомий з обчислень. Тому $\sphericalangle PCT = 180^\circ + \sphericalangle hCm - \sphericalangle hCT$.

Тепер у трикутнику PCT відомі вже всі кути, що дає змогу встановити відношення їх сторін, інакше кажучи, знайти відношення $PC : CT$. Цим і розв'язується поставлене завдання. Ці результати Коперника і наведено в таблиці 4.

Відстані до нижніх планет встановлено простіше. Наприклад, Коперник спостерігав Венеру на кутовій відстані $47\frac{1}{3}^\circ$ від Сонця в перигеї та на кутовій відстані $44\frac{4}{5}^\circ$ апогеї (рис. 3. 4). Ось що він пи-

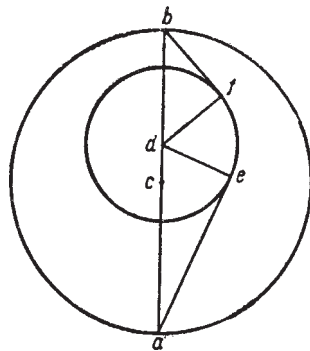


Рис. 3. 4. Рисунок Коперника, використаний ним для встановлення відношення діаметрів орбіт Венери і Землі.

ше: «...зі спостережень можна встановити відношення діаметрів орбіт Землі і Венери. Побудуємо земну орбіту ab з центром c , проведемо через обидві її апсиди діаметр acb і на ньому візьмемо в d центр орбіти Венери, ексцентричної стосовно кола ab . Хай a буде місце апогею; при перебуванні у ньому Землі центр орбіти Венери міститься на найбільшій відстані, лінія ab буде лінією середнього положення Сонця, що йде до 48 градусів з третиною, у точці b ця лінія піде до 228 градусів з третиною. Проведемо також прямі лінії ae та bi , які дотикаються орбіти Венери у точках e та f , і сполучні прямі de та df . Оскільки кут dae при центрі кола стягує дугу в 44 і чотири п'ятих градуса, а кут aed прямий, то трикутник dae є трикутником із заданими кутами, а значить і сторонами; а саме de як половина хорди, що стягує подвоєний кут dae , становитиме 7046 частин, яких в ad міститься 10 000. Також і в прямокутному трикутнику bdf дано кут dbf , рівний 47 градусів з третиною; тоді хорда df буде дорівнювати 7346 частинам, яких в bd міститься 10 000».

Інакше кажучи, в апогеї відстань Венери від Сонця становила 0,7046 (це величина $\sin 44^\circ 48'$), в перигеї – 0,7346, що в середньому

становить 0,7346. Ці ж міркування використано і для Меркурія. Неминуче виникає питання: чи розрахунки положень планет, проведені в системі світу Коперника, були точнішими порівняно з птолемеевськими? Виявляється – ні. Теоретичний аналіз цього питання показав, що похибка у визначенні довготи така ж, тоді як похибка у радіус-векторі в Коперника удвічі більша. У випадку планети, орбіта якої має значний ексцентриситет, обчислені довготи можуть істотно відрізнятись від спостережуваних. Так, для Марса отримані за допомогою таблиць Коперника положення можуть відрізнятись від істинних на цілих три градуси (І. М. Веселовський, Ю. О. Білий, 1974; Н. І. Ідельсон, 1975; Є. О. Гребеніков, 1982).

Та головне тут в іншому. Як писав у передмові до «Пруських таблиць» Еразм Рейнгольд, «ми зобов'язані Коперникові глибокою вдячністю за його многотрудні спостереження і особливо за відновлення істинного вчення про рух небесних тіл...»

§ 3. НЕ «ЗРУЧНІСТЬ», А РЕАЛЬНІСТЬ!

Книга Коперника вийшла 1543 р. тиражем 1000 примірників і невдовзі була перевидана у Базелі (1566 р.) та Амстердамі (1617 р.). Як вже згадано, докази руху Землі отримано лише у XVIII – XIX ст. Отже виникає питання: які риси, які особливості системи Птолемея свідчили проти неї, а отже, – за систему Коперника і то настільки переконливо, щоб після появи книги Коперника вже не знайшлося астронома (крім Тіхо Браге), який піддавав би її сумніву? Бо ж ще в «Малому коментарі» Коперник писав: «Нехай ніхто не думає, що я довільно допускаю разом з піфагорійцями рух Землі; у моєму ж викладі [теорії сфер] будуть знайдені строгі докази...»

ВІДОБРАЖЕННЯ РЕАЛЬНОСТІ. Система Птолемея правильно описувала рух планет, як ми його бачимо з Землі. Але коли розглядати птолемеевську систему в цілому, то виявляємо у ній декілька особливостей, чи закономірностей, які, як висловився Н. І. Ідельсон, «в ній є незрозумілими, не мають пояснення і начеб цілком випадкові». А в системі Коперника, навпаки, вони пояснюються «самі собою». І – стають отими доказами правильності геліоцентричної моделі.

По-перше, у птолемеевській системі дивним є те, що Марс, Юпітер і Сатурн опиняються найближче до Землі (в перигеях їхніх епіциклів) *тоді і лише тоді*, коли вони перебувають у протистоянні з Сонцем.

Далі, радіус-вектори, проведені з центрів епіциклів до цих трьох планет, *завжди* паралельні між собою і водночас паралельні напрямку від Землі до Сонця. По-третє, відносні радіуси епіциклів зменшуються від Марса до Сатурна. Далі, центри епіциклів Меркурія і Венери лежать завжди на прямій, що з'єднує Землю з Сонцем, а періоди обертання центрів цих епіциклів навколо Землі дорівнюють одному рокові. І п'яте, – Сонце і Місяць, на відміну від планет, не описують петель.

«Століття за століттям покоління астрономів вивчали, коментували, викладали систему Птолемея; але ніхто з них ніколи не зупинявся на всіх цих загадках, і ні в кого до Коперника не зародилася думка, що всі ці явища не випадкові, а трапляються завдяки якійсь особливості в загальних положеннях птолемеївської доктрини» (Н. І. Ідельсон, 1975). Коперник не те щоб «переставив місцями Землю і Сонце», бо спостерігач завжди залишається на Землі і усі ці рухи таки бачить (!), але зміг подумки перенести центр рухів до Сонця і з'ясувати, що ми спостерігаємо оту всю «хорею планет» з Землі, *яка також рухається* і тим самим *спотворює* (скажемо так) загальну картину.

Очевидно, немає жодних підстав домислювати, розглядав свою систему Коперник як відображення реальності чи лише як зручну модель для проведення обчислень... Бо «постулати астронома повинні бути істинними! Іншими словами, існує селективний, не залежний від людини порядок речей; інтелект, що його пізнає, повинен піднятися до нього в положеннях, що є істинними в їх сутності; його побудови мають бути адекватними явищам і охоплювати їх у всій сукупності» (Н. І. Ідельсон, 1975). Якраз таким астрономом і був Коперник.

«**Перша розповідь**» Ретика. Суть вчення Коперника вперше опублікована друкарським способом 1540 р. Була це книга під назвою «Знаменитому мужу Йоганну Шонеру при книги обертань найученішого мужа і найкращого математика... Миколи Коперника...», складена юнаком, що вивчає математику, перша розповідь» (видано в обсязі чотирьох аркушів у Данцігу). Ретик – Георг Йоахим Лаухен (1514–1576) – професор математики Віттенберзького університету у травні 1539 р. спеціально приїхав до Коперника, щоб детальніше ознайомитися з його теорією, плануючи затриматися в нього не більше двох місяців. А залишився біля Коперника майже на два роки.

Вивчивши рукопис книги «Про обертання...», Ретик, як свідчать історики науки, систематично переконував Коперника зробити свій

твір надбанням людства. І «лише після спільної поїздки Коперника з Ретиком... до Тідемана Гізе, коли переконуючих вже стало двох, Коперник нарешті зважився на публікацію і взявся за остаточну редакцію рукопису» (І. Н. Веселовський, Ю. О. Білий, 1974). А тим часом книгу Ретика 1541 р. перевидано в Базелі, так що найширші кола астрономів вже мають змогу познайомитися з новою теорією. Так, 1542 р. Еразм Рейнгольд в коментарі на «Нові теорії» Пурбаха писав: «Я чую про сучасного вченого, винятково вмілого; він в усіх пробудив гаряче очікування; надіються, що він відродить астрономію; вже він наводить останні штрихи на свою працю перед її публікацією». Тоді ж, 1542 р., Ретик у Віттенберзі видає ту частину праці Коперника, що стосується тригонометрії, під назвою: «Про сторони і кути як плоских, так і сферичних трикутників, твір найученіший і найкорисніший як для розуміння багатьох доказів Птолемея, так і для інших цілей, складений знаменитим і ученішим Миколою Коперником з Торуні».

У «Першій розповіді» Ретик пише: «Оскільки мій пан учитель наставник (*Dominus Doctor Praeceptor*) був за характером таким, що легко спілкується з усіма, і бачив, що вчений світ має потребу в покращених рухах [небесних світил], він охоче погодився на пропозицію його друга, шановного прелата [Тідемана Гізе]: він обіцяв, що складе астрономічні таблиці, засновані на нових правилах, так що, коли праця має якусь вартість, він не має наміру приховувати її від світу. Однак йому вже давно було очевидним, що спостереження самі по собі вимагали таких гіпотез, які відкидали всі прийняті дотепер положення, що стосуються порядку і руху сфер, і які вважалися істинними; до того ж вони [ці спостереження] вимагають введення постулатів, що суперечать безпосередньому чуттєвому [сприйняттю]; тому він, мій наставник, вирішив, що він буде мати за зразок «Альфонсові таблиці» і складе таблиці з точними правилами користування, але без доказів. Таким чином, він не спричинить суперечки серед філософів; будь-який математик отримає можливість правильно обчислювати [небесні] рухи; але істинний учений, на якого Юпітер глянув незвичайно прихильним поглядом, той з наведених чисел дійде до того джерела і до тих основ, з яких все виведено. Рядовий астроном не буде позбавлений можливості користування таблицями, яких він шукає і прагне, незалежно від якої б то не було

теорії; до того ж буде збережено і правило піфагорійців, за яким вивчення філософії слід спрямовувати так, щоб її глибокі таємниці були збережені лише для тих, хто знає, хто досвідчений у математиці».

Ретик підкреслював, що силою своїх доказів вчення Коперника переконало б навіть Аристотеля і Птолемея: «...Аристотель ...подав би голос за пана доктора... Я... далекий від думки, що Птолемей, якби лише йому було дано повернутися до життя, залишився б вірним своїй системі. Побачивши, як завалена руїнами століть, як непрохідною стала стовпова дорога астрономії, Птолемей сам став би шукати новий шлях». Нарешті Ретик вигукнув: «І нехай переможе правда і доблесть, нехай науки завжди користуються належною їм повагою, хай кожен добрий майстер свого мистецтва випускає у світ те, що корисне, і так веде свої дослідження, щоб усі бачили, що він прагне істини».

НАКЛЕП ЧИ РОЗВАЖЛИВІСТЬ? Свою присвяту папі Коперник закінчує словами: «Я не сумніваюся, що здатні та вчені математики будуть згідні зі мною». І далі, передбачаючи те, що невдовзі має статися: «Знайдуться, напевне і такі, хто, будучи невігласами у всіх математичних науках, проте беруться розмірковувати про них і на підставі якого-небудь місця з Святого Письма, неправильно витлумаченого і спеціально перекрученого для їхньої мети, насміляться осуджувати і переслідувати моє вчення. Судженнями таких людей я можу знехтувати як безпідставними. Адже не таємниця, що Лактанцій, письменник, взагалі кажучи, знаменитий, але слабкий математик, розмірковував про форму Землі наче мала дитина, висміюючи тих, хто стверджував, що Земля має форму кулі. Отже і вчені не повинні дивуватися, якщо хтось із таких же людей буде висміювати і мене...»

Варто взяти до уваги, що фактично книга Коперника мала таку довгу назву (з якої видно її оцінку з боку її автора): «Миколи Коперника Торунського Про обертання небесних сфер шість книг. Ти знайдеш, наполегливий читачу, в цьому недавно закінченому і виданому труді рухи зір і планет, представлені на основі як давніх, так і сучасних спостережень, розвинуті на нових і дивовижних теоріях. До того ж ти маєш найкорисніші таблиці, за якими ти можеш найзручнішим чином обчислювати їх на будь-який час. Тому, наполегливий читачу, купуй, читай і отримуй користь.

Нехай не входить ніхто, хто не знає геометрії».

Сталося ж ось що. Редагування книги Коперника було доручене лютеранському богослову Осіандеру (1498–1552). І цей ще 1540 р. звертався до Коперника з пропозицією написати таку передмову, яка примирила б філософів і теологів – мовляв, «гіпотези не є символами віри, а є основою для обчислень, внаслідок чого вони можуть бути навіть фальшивими, аби лише правильно передавали явища. Звідки нам знати, що є причиною нерівномірності руху Сонця: епіцикл чи, якщо ми приймемо гіпотези Птолемея, ексцентр. Адже причиною може бути і те, і друге». Коперник категорично відкинув пропозицію Осіандера і подав передмову і присвяту папі Павлові III, з яких чітко видна позиція його як творця нового геліоцентричного погляду на світ.

Осіандер же у процесі редагування книги замінив передмову Коперника, написавши таке: «До читача про гіпотези, що лежать в основі цієї книги... Справді, кожному астрономові властиво на підставі старанних та митецьких спостережень складати історію небесних рухів. Оскільки ж ніякий розум не в змозі дослідити справжні причини або гіпотези цих рухів, астроном повинен придумувати якісь гіпотези, щоб за їхньою допомогою на підставі принципів геометрії можна було обчислювати ці рухи як для майбутніх, так і для минулих часів. І те, і друге вправний автор цієї книги виконав досконало. Бо ж немає необхідності вважати, що гіпотези ці відповідають істині або навіть правдоподібні. Досить, щоб вони приводили до узгодження між спостереженнями і обчисленнями». Згадавши, що побудувати правдоподібну гіпотезу про епіцикл Венери дуже важко, що «неможливо з'ясувати причини видимих нерівномірних рухів», Осіандер закінчує свою передмову так: «Дозволимо ж, щоб поруч зі старими гіпотезами виступили і ці нові, хоча й вони зовсім не правдоподібніші... У всьому ж, що стосується гіпотез, нехай ніхто не очікує отримати від астрономії щось достовірне, бо вона не в змозі дати нічого такого. Якщо ж хто-небудь прийме за істину те, що придумане іншими, то від такої науки стане ще дурнішим, ніж був, коли розпочинав її вивчати. Бувай здоровий!»

Як відмітили Є. і П. Рибки (1973), така безглузда і найвищою мірою недобросовісна передмова применшувала вартість теорії Коперника в очах непідготовлених читачів і викликала обурення в тих, хто розумів її суть. Так, Тідеман Гізе в листі Ретику пише: «Щоб

той, хто дозволив собі нечуване зухвальство, вмістив спотворюючу суть справи передмову, не залишився безкарним, я написав нюрнберзькому сенатові, що вважаю необхідним відновити добре ім'я автора». Далі Гізе пропонує заново надрукувати перші листи, доповнити книгу іншою передмовою, вмістити в ній біографію автора. Ці та інші спроби Гізе і самого Ретика ні до чого не привели. І справжня передмова Коперника з'явилася лише в четвертому виданні книги (Варшава, 1854 р.). Виявити ж автора цієї передмови вдалося 1601 р. Й. Кеплерові.

Як зауважив Н. І. Ідельсон, «якщо переглядати астрономічні праці, що з'явилися після появи «Про обертання...» в найближчі три–чотири десятки років, і виступи богословів – не лише католиків, а й протестантів..., то створюється враження, що більшість зупинялася на точці зору, близькій передмови Осіандера. Вчення Коперника приймали як певну умовність, що не виключає вчення Птолемея... Таким чином, середньовіччя тягнуло назад. Але... якось... нерішуче: конструкціями Коперника вже користувалися для удосконалення астрономічних обчислень... Взагалі ні про яку цензуру його книги і вчення мови не виникає; її перевидають. Словом, ніщо не віщує тої бурі, яка пронеслася над знаменитою книгою через 73 роки після її появи» (1975).

Осіандера, напевне, можна зрозуміти. Але вищі церковні ієрархи, як Микола Шонберг, Тідеман Гізе і всі, хто знайомився у ватиканських садах разом із папою, з ученням Коперника, повинні були якнайголосніше висловити оту сакраментальну думку, що всемогутній Творець міг творити світ у найрізноманітніший спосіб... Цього не сталося. Натомість була ось ця заява папи Урбана VIII у червні 1624 р.: «Свята Церква не осуджувала і не має наміру осуджувати це вчення як єретичне, але лише як необґрунтовано сміливе; однак не слід боятися, що кому-небудь вдасться довести, що це вчення є необхідно істинне...»

§ 4. Трагедія Джордано Бруно

17 лютого 1600 року на площі Квітів у Римі спалено італійського мислителя Джордано Бруно. Багато популяризаторів науки твердять, що він був палким борцем проти вчення Аристотеля і скрізь «красномовно захищав вчення Коперника про подвійний рух Землі».

І що саме це і привело його на вогнище. Аналіз усієї ситуації показав, однак, що справа тут не так вже однозначна.

Життя Бруно. Джордано Бруно (справжнє ім'я Філіп) народився 1548 р. у містечку Нола поблизу Неаполя, його батько був солдатом-найманцем, мати – убогою селянкою. Хлопчиною Бруно віддано до монастиря, де він пробув десять років. У монастирі Бруно детально вивчив книгу Коперника і сміливо виступив проти поглядів Аристотеля, вказуючи на їхню наївність та невідповідність спостереженням. Запідозрений у ересі, Бруно втік з монастиря, залишив Італію і з 1574 по 1591 р. побував у різних країнах Європи – у Швейцарії, Франції, Англії та Німеччині.

У цей час Бруно пише свої книги, виступає у диспутах, і скрізь врешті-решт його змушують припинити пропагування своїх ідей. Бруно рішучо виступав проти церкви і релігії взагалі, він вважав їх найсерйознішою перешкодою на шляху розвитку науки. Для нього церква – «мати темряви і дочка помилки», католицькі священники – «гірше гусені і жадібної сарани», а протестантські «реформують нерозсудливу й зіпсовану віру, лікують виразки прогнилої релігії». І ті й інші – «найбільші осли світу». Повернувшись до Італії (1591 р.), він дуже швидко потрапив у руки інквізиції і після перебування у тюрмах спочатку Венеції, тоді Риму, зійшов на вогнище.

Перебуваючи в тюрмі, Бруно написав про себе так: «Було в мені все-таки те, в чому не відмовлять мені майбутні століття, і нащадки скажуть: страх смерті був чужий йому, силу характеру він мав велику і ставив вище всіх насолод життя боротьбу за істину». Свої високі якості бійця він проявив на судовій розправі та в час смерті. Почувши присуд, він сказав: «Ви, напевне, з більшим страхом оголосили мені вирок, ніж я його вислухав», а потім декілька разів додав: «Спалити – не значить спростувати!» І ще ось його слова: «Життя людини на Землі є не що інше, як стан війни! Вона повинна поразати нищість нероб, загнздувати нахабність, випереджувати удари ворогів».

Попіл вогнища, на якому його спалено, кинули в ріку Тибр, «щоб від еретика нічого не залишилося». А 1889 р. на площі Квітів у присутності шести тисяч делегатів від усіх країн і народів світу відкрито пам'ятник з написом на ньому: «9 червня 1889. Джордано Бруно. Від століття, яке він передбачив, на тому місці, де було запалено вогнище».

На думку багатьох біографів Бруно, він, можливо, і не згинув би на вогнищі, якби не його виступи проти монастирських прибутків та маєтків, якби він не вимагав їхньої конфіскації. Саме на цьому питанні, як впливає з протоколів допитів, інквізитори зосередили свою основну увагу. *Про вчення Коперника на судовому процесі не прозвучало жодного слова!*

Книги й ідеї Бруно. Перша з великих книг Джордано Бруно «Бенкет на попелі» (інша її назва: «Вечеря в перший день Великого посту») вийшла в Англії 1584 р. Вона складається з п'яти діалогів, що їх ведуть чотири співбесідники, і, на перший погляд (див. нижче), присвячена головним чином пропаганді астрономічних ідей Коперника. Тут Бруно висловив погляди про безмежність Всесвіту, про незліченність світів. Ці ідеї він розвинув далі у книгах «Про причину, початок і єдине» (1584 р.), «Про безмежність, Всесвіт і світи» (1584 р.) та «Про невимірне і незліченне» (1591 р.). У цих творах Бруно виступає як пантеїст і певною мірою як один з основоположників матеріалістичного природознавства, розмірковуючи про матеріальну єдність світу, безмежного у просторі й часі.

Ось що говорив Бруно про Коперника та його систему: «Йому ми зобов'язані звільненням від деяких фальшивих припущень загальної вульгарної філософії, якщо не сказати, від сліпоти. Проте він недалеко від неї відійшов, оскільки, знаючи математику більше, ніж природу, не міг настільки заглибитися й проникнути в останню, щоб знищити корені вагань і фальшивих принципів, чим цілком усунув би всі протидіючі труднощі, звільнив би себе й інших від багатьох непотрібних досліджень та фіксував би увагу на справах сталих та певних... Хто ж буде настільки підлим та невічливим стосовно до праці цієї людини, яка, навіть якщо забути те, що вона зробила, була послана богами, як світанок, котрий мав передувати сходові сонця справжньої античної філософії, протягом віків похованої у темних печерах сліпоти та злого, безсоромного, заздрісного неуттва..?»

Про себе та своє вчення Бруно, прибравши ім'я Ноланець, говорить устами одного із співрозмовників: «Ноланець... перед лицем здорового глузду ключем найстаранніших досліджень відкрив ті притулки істини, які можуть бути нами виявлені, оголив скриту під покровом природу, розкрив очі у кротів, вилікував сліпих, які не могли підняти очі, щоб глянути на свій образ у дзеркалах, що з усіх

боків оточували їх, розв'язав язик у німих, які не вміли та не могли здійснити цей ривок духа вперед..., це він змусив людей побувати на Сонці, Місяці та інших згаданих світилах, наче б то люди були їх первісними мешканцями; він показав, наскільки подібні і неподібні, більші або гірші тіла, які видно як віддалені від того тіла, на якому перебуваємо ми самі...

Таким чином ми дізнаємося, що, якби ми були на Місяці або на іншій зорі, ми були б у місці, що не дуже відрізняється від Землі..., ми дізнаємося, що можуть бути інші тіла, так само гарні і навіть кращі самі по собі і здатні дати більше щастя своїм мешканцям».

В «Бенкеті на попелі» читаємо, що «небесні світила – це великі тварини... Одні з них справді теплі, як Сонце та інші незлічені світила, інші холодні, як, наприклад, Земля, Місяць, Венера та інші незлічені землі». Бруно не сумнівався в тому, що зорі у Всесвіті рухаються одна відносно одної. Він же сформулював закон збереження матерії: «...всі речовини... зазнають усіх перетворень... І немає речовини, якій за природою своєю належить бути вічною, за винятком субстанції, яка є матерія, але і їй тим не менше належить бути у вічній зміні».

І, нарешті, про Всесвіт: «Всесвіт єдиний, безмежний, нерухомий... Він не рухається у просторі, бо нічого не має поза собою, куди міг би переміститися, оскільки він є всім. Він не народжується, бо немає іншого буття, якого він міг би бажати і очікувати, оскільки він володіє усім буттям. Він не знищується, бо нема іншої речі, у яку він міг би перетворитися...» Унаслідок цього, «оскільки Всесвіт безмежний і нерухомий, не треба шукати його двигуна...»

Можна зробити певний підсумок. Дослідники творів Бруно відзначають: практично все те, що говорив він про нескінченність Всесвіту, про рух нашої планети, про єдність фізичної природи Землі та інших небесних тіл, про можливість життя поблизу інших зір (чи «на них»), вже було сказане Миколою Кузанським (праці його перевидано якраз 1565 р.). Відмічено, однак, що конкретно в царині діалектики Бруно пішов далі Кузанця: якщо той говорив лише про *єдність протилежностей*, то Бруно приділив значну увагу ідеї *боротьби протилежностей*. Звичайно, лекції Бруно про безперервний розвиток природи в кожному закутку Всесвіту, навіть обмін речовиною між різними небесними тілами і т. д. мали неабиякий резонанс

і стимулювали наукову думку. Але, як виглядає, справжня причина трагедії Джордано Бруно була в іншому.

ПРИЧИНА ТРАГЕДІЇ БРУНО. Як з'ясували недавно Л. Лернер та Е. Госселін (1987), сьогодні є зовсім інші, навіть несподівані уявлення про причини, що привели до так сумного кінця «справи Джордано Бруно».

Ось що пишуть згадані автори про книгу Бруно «Банкет на попелі»: « Якщо ставитися до цієї праці Джордано Бруно як до викладу основ системи Коперника поруч з деякими іншими науковими проблемами, то можна лише надивуватися її популярності. Вона постає як добірка безглуздь – хаотичне нагромадження безглузвих помилок, серед яких трапляються цілком незрозумілі частини тексту... Джордано Бруно неправильно тлумачить вчення Коперника про Сонячну систему. Він демонструє цілковиту неграмотність в елементарній геометрії, не кажучи вже про геометричну оптику. Він розпочинає вкрай заплутані псевдонаукові розмірковування, закінчуючи їх високопарними сентенціями, які здаються цілком не пов'язаними з попередніми чи наступними аргументами...

В цій роботі прихований і інший смисл, який напевне був ясним для сучасників. Коли б він був просто безграмотним дурнем, він став би об'єктом насмішок та знущань, але аж ніяк не нестримної ненависті та нещадного переслідування з боку церкви... Багато дещо в «Банкеті» свідчить про те, що насправді він не про систему Коперника – зовсім. Що більше, цю працю лише умовно можна вважати природничо-науковою і аж ніяк не можна сприймати буквально..., головною темою твору є євхаристія».

Отже, для Джордано Бруно вчення Коперника виявилось усього лише зручною моделлю «і метафоричним джерелом для куди ширших філософських узагальнень. Те, що Коперник замінив Землю Сонцем як центр Всесвіту, стало для Бруно символом відродження того, що він називав «давньою істинною філософією»; саме до цієї філософії, на його думку, і слід звернутися для розуміння істинного значення святого причастя».

Згадана ж «давня істинна філософія» – це різновид герметизму, тобто філософських і релігійно-містичних поглядів, що поширювалися у II і III ст. н. е. в неоплатонічних трактатах і авторство яких приписували Гермесу Трисмегісту (Гермесу Тричі Найвеличнішому), якого вважали сучасником Мойсея. Послідовниками Гермеса були

нібито Піфагор і Платон. Відповідно до цих поглядів людина носить у собі частинку Бога і безперервно перебуває у спілкуванні з Ним. Далі, наділене нібито душею і все, що є у природі, зокрема зорі й планети, так що за допомогою магії їх можна використати для досягнення певних соціальних і політичних змін на Землі. І ось за задумом Бруно заново відроджена і змінена ним «давня істинна філософія повинна була вивільнити божественну сутність усіх людей» і стати «могутньою силою, здатною залікувати релігійні та політичні рани суспільства і утвердити на Землі новий «золотий вік»».

Якщо говорити конкретно, то мова йшла про визнання «одвічної єдності» між ліберальними протестантами в Англії та ліберальними католиками у Франції. Мовляв, у системі Коперника Земля рухається, як і інші планети, вони стали подібні одна до одної. Такими ж подібними за смыслом повинні стати погляди згаданих протестантів і католиків на євхаристію. І – вони повинні об'єднатися... проти «реакційної» Іспанії. У складній, переповненій інтригами ситуації Бруно і поплатився за ці свої погляди життям.

Повторимось: на судовому процесі про систему Коперника не було сказано жодного слова. Тому й твердити, нібито він загинув як палкий пропагандист вчення Коперника, немає підстав. Не звинувачувано його і в тому, що він доводив поширеність життя у Всесвіті (як знаємо, те ж говорив Микола Кузанський). Що ж демонстрували оті шість тисяч «представників усіх країн і народів» у червні 1889 р.? Вони підтверджували право кожної людини вільно висловлювати свою думку, а коли вона, ця думка, спрямована проти основ держави, то право на відкритий судовий процес...

Розділ 11. ЩАСЛИВИЙ ТАНДЕМ: БРАГЕ – КЕПЛЕР

Де загубилися б високоточні, як на той час, спостереження Тіхо Браге, проведені ним упродовж двадцяти років, якби не Йоганн Кеплер? Що зміг би залишити після себе неперевершений у своїй наполегливості Кеплер, якби не ці результати спостережень Браге? Щасливий збіг обставин – і нова, коперниканська астрономія отримала для свого розвитку перший потужний імпульс та обґрунтування, якого здолати не могла вже ніяка сила.

§ 1. БРАГО – «ФЕНІКС АСТРОНОМІЇ»

Видатний датський астроном Тіхо Браге (1546–1601), цей «фенікс астрономії», як його назвав Кеплер, народився у провінції Сканія (тепер у Швеції). На 13-му році життя він вступив до Копенгагенського університету, щоб вивчати право. Однак на другому році його перебування в університеті, 21 серпня 1560 р., відбулося затемнення Сонця, яке, зрештою, в Копенгагені спостерігалось як часткове. Молодого Тіхо вразило те, що це небесне явище було передбачене наперед. Він зразу ж вирішив познайомитися з основами астрономії – як він сам висловився, «науки, до якої я відчував природну симпатію». Тіхо Браге придбав таблиці планетних рухів і том творів Птолемея.

Подальші три роки свого життя Браге пробув у Лейпцігу, як вважали його прийомний батько і родичі, для вивчення юриспруденції. Насправді ж на виділені йому гроші він купив декілька книг з астрономії та кутомірний прилад – «палицю Якова». А вже 1563 р. відбулося сполучення Юпітера з Сатурном, яке за астрологічними уявленнями того часу нібито було причиною страшною епідемію. Тіхо Браге встановив тоді, що в передбаченні цього явища старі («Альфонсові») астрономічні таблиці допускали похибку в один місяць, тоді як «Пруські таблиці» Рейнгольда, розраховані на основі теорії Коперника дали різницю в декілька днів. Тоді-то Браге і вирішив присвятити своє життя уточненню астрономічних таблиць.

У 1565 р. він повернувся додому і, отримавши невелику спадщину, знову покинув Данію та відвідав Віттенберг, а потім Росток. Тут на вечоринці в одного професора Тіхо Браге через якусь математичну проблему посварився з одним із своїх земляків і в наступній дуелі позбувся частини носа. Тому упродовж усього життя Браге був змушений носити на носі протез, а в кишені – спеціальний клей для його закріплення. З цього приводу злоріки твердили, що коли Тіхо Браге став знаменитим, багато хто ходив на його лекції не стільки, щоб послухати їх, як подивитися на його ніс.

«**Зоря створила астронома**». В 1569 р. Браге відвідав Аугсбург, майстри якого славилися вмінням виготовляти інструменти, придатні для точних спостережень небесних світил. Тут за проектом Браге і було виготовлено квадрант радіусом близько 6 м, повна ж висота інструмента сягала 11 м, відлік кутів на ньому проводили з похибкою 10". Щоправда, повернувшись у травні 1571 р. в Данію, після смерті

батька, Тіхо ледве не став хіміком. Зі своїм молодшим братом Стеном він побудував невелику паперову фабрику і скляний заводик.

Однак 11 листопада 1572 р. ввечері, повертаючись із хімічної лабораторії, Тіхо Браге зауважив у сузір'ї Кассіопеї яскраву зорю, якої там раніше не було. Згодом він писав про це так: «Я був настільки вражений видовищем, що не посоромився піддати сумніву те, що бачили мої очі... Чи не було це найбільшим з чудес, які траплялися коли-небудь від початку світу..?» Браге зразу ж почав вимірювати кутові відстані від цієї Нової зорі до головних зір Кассіопеї та до Полярної. Згодом Кеплер скаже так: «Якщо ця зоря нічого не напроорочила, то принаймні вона возвістила і створила великого астронома».

Наднова Тіхо (так вона тепер зветься) була яскравішою за Венеру і її певний час було видно вдень, а неозброєним оком вночі – декілька місяців. Звичайно, це явище схвилювало багатьох людей, було висловлено найрізноманітніші припущення, «що віщує» це дивне світило. Але виникло і питання, де є цей об'єкт: даліше від Місяця чи ближче. За Аристотелем він мав бути близько поверхні Землі. І справді, деякі німецькі астрономи «знайшли», що відстань від нової зорі до Землі становить усього 12–15 земних радіусів. Зокрема, Еліас Камерарій у Франкфурті-на-Одері нібито виявив, що при її появі зоря мала паралакс 12', а трьома місяцями пізніше 0,5', звідси випливало, що нова зоря віддаляється від Землі по прямій. Тому, мовляв, зменшується і її блиск.

Щоб визначити добовий паралакс нової зорі, Тіхо Браге вимірював її кутову відстань від Полярної і яскравих зір Кассіопеї в момент, коли зоря перебувала у верхній кульмінації і повторно через 12 годин. Внаслідок цього він зробив висновок, що її паралактичне зміщення якщо й існує, то дуже мале – менше декількох мінут дуги (для Місяця 57'). Звідси випливало, що нова зоря набагато даліше, ніж Місяць. І – всупереч Аристотелеві можна було сказати, що світ зір не є вічним і не є незмінним. Свої роздуми на цю тему Браге виклав у книзі «Про нову зорю» (1573 р.), в якій висловив припущення, що зоря утворилася внаслідок конденсації тонкої світлої небесної речовини, з якої, на його думку, складається Молочний Шлях. Тіхо Браге навіть вказував, що внаслідок цього поблизу Молочного Шляху утворилася діра, що спостерігається як темна пляма.

У 1576 р. Тіхо Браге отримав від короля Фредерика II у своє розпорядження острів Вен (20 км на північний схід від Копенгагена), який за формою нагадує рівнобедрений прямокутний трикутник площею близько 7,5 км², географічна широта острова 55°54,5'. Отримав він і чималі кошти: «більше ніж бочку золота». І це дало йому змогу побудувати на згаданому острові обсерваторію Ураніборг – «замок Уранії» (Уранія в давніх римлян – богиня неба), як також обладнати її точними кутомірними приладами. Через декілька років там же побудовано обсерваторію Стєрнеборг – «зоряний замок», в якій вимірювальні прилади для захисту їх від вітру встановлено у підземеллях. В Ураніборзі не лише виготовляли інструменти, тут був друкарський верстат та паровий млин.

Так острів Вен більш як на 20 років став унікальним астрономічним центром світового значення. Тут проводили виняткові за своєю точністю спостереження, вели підготовку кваліфікованих астрономів, які згодом працювали в інших містах Європи, виготовляли інструменти, унікальні щодо своїх якостей. Усе це коштувало немалих грошей, ці витрати були помітною частиною державного бюджету країни, і їх було виділено 30-річному вченому, зоря якого, образно кажучи, лише сходила!

ІНСТРУМЕНТИ ТІХО БРАГЕ. Опис та вигляд основних інструментів обсерваторії Ураніборг – Стєрнеборг Тіхо Браге дав у своїй книжці «Механіка оновленої астрономії» (1598 р.). Інструменти були різних типів і розмірів залежно від поставлених перед спостерігачем задач. Передовсім це квадранти, яких у Браге було декілька: з радіусами 42, 64 і 167 см (рис. 3. 5). Найвідомішим є 194-сантиметровий квадрант, дугу якого, виготовлену з латуні, жорстко закріпили на точно зорієнтованій у напрямі «північ-південь» східній стіні, у південній стіні було зроблено віконце. Для підвищення точності відліку на цьому, як і на інших інструментах, Браге використав метод «трансверселей», тобто рядів точок, однаково віддалених від кінців дуги. Це дозволяло проводити відлік з точністю до 10", а на «настінному квадранті» – до 5". Цей останній обслуговували три спостерігачі: один здійснював візування та зчитував висоти світила над горизонтом, другий записував дані в журнал, третій фіксував час проходження світила через меридіан за декількома годинниками, встановленими у цьому ж приміщенні. До речі, з 1581 р. Тіхо Браге

використовував годинники з секундними стрілками і оцінював їхні похибки до 4 секунд.

Іншою групою інструментів, за допомогою яких проводили виміри кутових відстаней між світилами, були секстанти, винахідником їх очевидно, був сам Браге. Два секстанти в Ураніборзі мали радіус дуги 4 лікті (155 см). Під керівництвом Браге виготовлено декілька армілярних сфер, в одній з них діаметр кільця кола схилень дорівнював 350 см. Окремої згадки заслуговує великий, діаметром 149 см, глобус, поверхню якого вкрили тонкими листами латуні. На глобусі були нанесені пояс Зодіаку, екватор і положення 1000 зір, координати яких визначені за роки спостережень Тіхо Браге.

Одночасно разом із Тіхо Браге спостереження проводили 10 його учнів та помічників, не рахуючи механіків та інших спеціалістів. Стиль роботи в нього описує Ю. О. Білий (1982) так: «Працювати всім доводилося багато. Витривалість самого Тіхо, здавалося, не мала меж. Хоча цілі ночі від вечора до ранку він проводив за спостереженнями, днем він рідко коли спав. Як керівний робіт, Тіхо... відрізнявся вимогливістю... Він не знав дрібниць у спостереженнях і вимагав такого ж виключно уважного та акуратного відношення до праці і від своїх учнів та асистентів... Відноситися до роботи погано було просто неможливо. Справа в тому, що аналогічні доручення давалися зразу декільком особам, які працювали в різних приміщеннях і з різними інструментами. Отримані ними дані перевіряв і перепроверяв сам Тіхо...»

Після смерті короля Фредеріка II становище Тіхо Браге погіршилося, і 1597 р. він залишив Данію, а після дворічних блукань переїхав до Праги, де й помер на 55-му році життя. Як свідчив Кеплер,

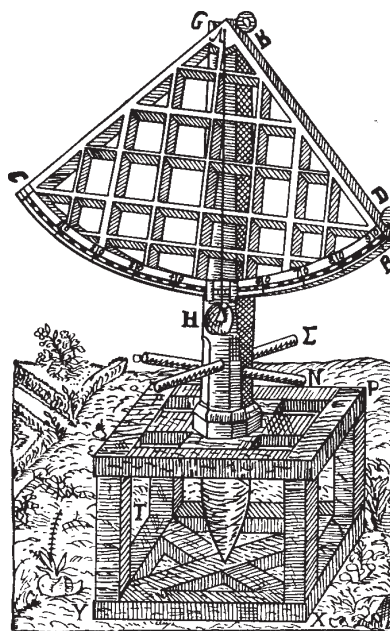


Рис. 3. 5. Квадрант часів Тіхо Браге.

що вже тоді співпрацював з ним, в останні свої дні Тіхо неодноразово шептав: «Життя прожито не даремне!»

На надгробній плиті над могилою Тіхо Браге у Гинському соборі в Празі вміщено девіз, який раніше прикрашав вхід до Стєрнеборгу: «Не влада й багатство, а мистецтво володіє скіпетром усіх часів». А на місці величної астрономічної обсерваторії Ураніборг через декілька десятків років відвідувачі могли побачити лише яму, заповнену сміттям...

НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ БРАГЕ. Завдяки виключно високій точності виготовлення вимірювальних приладів, вмілій конструкції візирних пристроїв і т.ін. Тіхо вдалося підвищити точність вимірювань приблизно у 50 разів: в часи Коперника похибка була 10', у середня ж похибка при визначенні Тіхо положень восьми опорних зір за допомогою стінного квадранта – 34,6", астрономічного секстанта – 33,2". А це для дотелескопічних астрономічних інструментів було близьким до теоретично досяжної межі. І ось найголовніші результати багаторічних спостережень Тіхо Браге:

1. Вимірюючи висоту Сонця в меридіані в зимове і літне сонцестояння, він визначив нахил екліптики до екватора і отримав значення $\epsilon = 23^{\circ}31,5'$, що було, однак, на 2' більше за справжнє. Справа в тому, що свої виміри висот Тіхо виправляв за рефракцію і за паралакс Сонця. При цьому, услід за Аристархом Самоським та Птолемеєм, він прийняв, що відстань до Сонця в 19 разів перевищує відстань до Місяця, і, отже, сонячний паралакс дорівнює $1/19$ місячного, тобто 3'. З цього приводу Тіхо Браге писав: «Ця величина виглядає настільки детальним дослідженням давніх, що ми запозичили її з великою впевненістю». І – помилився.

Багаторічні спостереження дали змогу Браге визначити ексцентриситет сонячної орбіти $\epsilon = 0,03584$, довготу апогею $A = 95,5^{\circ}$ і зміну цієї довготи $1^{\circ}15'$ за сто років, тобто 45" за рік (справжнє значення 61"). Тіхо Браге склав таблиці руху Сонця, за якими його положення визначали з точністю до 1', тоді як у попередніх таблицях похибка сягала 20'.

2. Вивчаючи особливості руху Місяця, Тіхо Браге встановив, що нахил площини його орбіти до екліптики коливається з амплітудою 9,5' відносно середнього значення $5^{\circ}08'$, причому найбільший нахил відповідає моменту переходу Сонця через вузол місячної орбіти.

Виявилося також, що лінія вузлів коливається поблизу її середнього положення з періодом 173,32 доби і з амплітудою, за визначенням Тіхо, $1^{\circ}46'$. Далі, крім «першої нерівності» та екекції, відкритих Гіппархом та Птолемеєм, Тіхо Браге виявив дві нових нерівності – **варіацію** (нерівність, що зникає в сизигіях та квадратурах і досягає найбільшого значення між ними в октантах, з амплітудою $40,5'$ – на $1'$ більше сучасного значення) і **річну нерівність**: у своєму русі весною Місяць завжди відстає на $11'$, тоді як восени на стільки ж іде вперед (за Браге, амплітуда цього явища менша – $4,5'$).

3. Тіхо Браге склав зоряний каталог із 788 зір, причому з особливою точністю він визначив прямі піднесення і схилення 21 опорної зорі. Порівняння даних цього каталога з результатами попередніх укладачів, починаючи від Гіппарха, дозволило Браге уточнити прецесію: $51''$ за рік. Браге встановив тривалість тропічного року з похибкою менше 1 секунди (365,24219 доби).

4. Багато уваги приділив Тіхо Браге вивченню комет, причому декілька з них він спостерігав першим. Результати досліджень він опублікував у «Другій книзі про недавні явища в небесному світі» (1588 р.). Тут важливе місце зайняв опис комети, яку спостерігали наприкінці 1577 – на початку 1578 рр. (протяжність її хвоста сягала 20°). Деякі спостерігачі услід за Аристотелем твердили, що вона переміщується між Землею і Місяцем. Тіхо Браге ж на підставі проведених особливо ретельно вимірювань паралаксів комет зміг заявити: «...мені щодо цієї комети... стало ясним, що її місце і шлях є далеко за межами місячної сфери. Аристотелівський погляд, що комети підіймаються із Землі в повітря, є, отже, цілком фальшивим... Я... підтвердив, що її горизонтальний паралакс не більший $15'$..., тож цілком чітко видно і зрозуміло, що ця комета перебуває далеко за Місяцем, у сфері Венери...»

Так Тіхо Браге переконливо довів, що комети є такими ж небесними тілами, як Місяць і планети. Якщо ж згадати ще й його роботу про Нову зорю 1572 р., то стає ясним, що роль Браге у руйнуванні основ аристотелевої картини світу величезна.

5. Найбільшим внеском в астрономію були проведені Тіхо Браге виміри положень Марса, здійснені з похибкою до $40''$ за 20 років неперервних спостережень, протягом яких Марс зробив більше

10 обертів навколо Сонця. Базуючись на цих спостереженнях, Браге сподівався створити точну теорію руху планет.

МОДЕЛЬ СВІТУ ЗА ТІХО БРАГЕ. На основі власних спостережень планет Браге дійшов висновку, що система Птолемея справді не в змозі їх пояснити.

Тіхо Браге дуже високо цінував Коперника, портрет якого займав у його обсерваторії найпочесніше місце. Однак було декілька, на думку Браге, причин, чому він не міг прийняти систему Коперника. Зокрема, як відмітив Ю. О. Білий (1982), термін «*orbis*» Коперник вживав у розумінні «небесних сфер», що обертаються навколо Сонця разом з планетами, які на них знаходяться. Але спостереження Нової зорі 1572 р. і комет переконали Браге в тому, що твердих «кришталевих сфер» насправді немає, інакше б вони перешкоджали рухам комет... Крім того, Тіхо, услід за аристотеліанцями, вважав, що якби Земля рухалася, то тіло, яке падає на неї, не могло б досягнути поверхні по вертикальній лінії. Далі Браге, приймаючи відстань між Землею і Сатурном за 12 300 радіусів Землі (і помиляючись приблизно в 20 разів), твердив, нібито відстань від Сатурна до «сфери зір» в 700 разів більша (і помилявся в сотні тисяч разів, навіть якщо брати відстані до найближчих зір). Справа в тому, що в ті часи вважали, нібито видимі кутові розміри найяскравіших зір дорівнюють – 2'. За Тіхо Браге видимий кутовий поперечник зорі першої величини дорівнює 120", другої – 90", третьої – 65", четвертої – 45", п'ятої – 30" і шостої – 20". Браге не зміг зареєструвати річне зміщення зір на небі в процесі руху Землі, про яке говорив Коперник, і звідси випливало, що радіус «сфери зір» значно більший і що тому між зорями і нашою планетою є дуже велика «порожнеча». Він писав: «Коперник допускав неймовірну і безглузду відстань. У всьому ж повинна бути гармонія: Творець любить порядок, а не безпорядок. Такий простір, позбавлений зір і планет, був би непотрібним». До того ж при великих відстанях виявлялося, що коли, скажімо, «річний шлях Землі, що розглядається з нерухомих зір, становить за величиною лише одну мінуту», то «нерухомі зорі третьої величини, видимий діаметр яких також дорівнює мінуті, повинні б мати розміри земної орбіти».

Звичайно, видимі кутові діаметри зір, як вони сприймаються оком, – це лише ілюзія, це явище обумовлене недостатньою

роздільною здатністю ока та атмосферною рефракцією. Але Тіхо Браге цього не знав.

Ну, і нарешті, модель світу Коперника, як вважав Браге, суперечила авторитету Святого Письма, де нібито говориться про нерухому Землю. Тому Тіхо Браге запропонував свою модель світу. Її він описав у книзі «Про недавні явища в ефірному просторі» (1588 р., фактично була опублікована 1602 р.). Ось що про неї говорив Тіхо Браге: «Я вважаю, що старе Птолемеєве розташування небесних сфер було недостатньо привабливим і що допущення такої великої кількості епіциклів, за допомогою яких пояснювали видимі рухи планет відносно Сонця, їхніх назадніх рухів і зупинок... слід вважати зайвим... Але я не схвалюю також нововведень, запропонованих Коперником... Ця груба маса Землі, так мало пристосована до руху, не може, подібно до інших небесних тіл, зміщуватися і рухатися. До того ж і Святе Письмо не дає підстав прийняти це вчення. Тому я вважаю, що слід твердо і без будь-якого вагання розмістити Землю нерухомо у центрі світу, ідучи за думкою давніх і свідомством Святого Письма. На мою думку, небесні рухи звершуються таким чином, що Сонце, Місяць і сфера нерухомих зір, яка замикає весь Всесвіт, мають центром Землю. П'ять планет обертаються навколо Сонця, як свого вождя і короля, а Сонце неперервно перебуває серед цих небесних тіл і в їх супроводі здійснює свій річний рух навколо Землі».

У тому ж 1588 р. у Страсбурзі вийшла книга Миколи Раймерса Бера (Урсуса), в якій той описав аналогічну модель світу. Вона відрізнялася від моделі Тіхо Браге тим, що за Бером Земля до того ж оберталася навколо своєї осі, чим усувалася необхідність обертання «сфери зір». Оскільки Бер за чотири роки до цього відвідав Тіхо Браге, то в зв'язку з цим виникла різка полеміка: Браге звинуватив Бера в плагіаті.

Як повідомляє Кеплер, Тіхо Браге перед смертю просив його, щоб він результати багаторічних спостережень планет «переробив відповідно до його власної гіпотези». Проте виконати це прохання Браге в буквальному розумінні слова Кеплер не зміг. Тіхо Браге у свій час задумав книгу «Приготування до оновленої астрономії». І створене Кеплером якнайкраще підходило до цієї назви, хоча воно було виконане зовсім інакше...

§ 2. КЕПЛЕРА МНОГОТРУДНЕ ЖИТТЯ

Коперник «зрушив Землю» – поставив її в один ряд з іншими планетами. І все ж його система світу ще залишалася захаращеною ексцетрами та епіциклами. Як висловився згодом англійський фізик Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879), «необхідно було вимести цю павутину з неба». Таку нелегку роботу і виконав «великий законодавець неба» Йоганн Кеплер на підставі точних багаторічних спостережень Тіхо Браге.

У слабкому тілі – могутній дух. «Він жив в епоху, коли ще не було впевненості в існуванні якоїсь загальної закономірності для всіх явищ природи. Якою ж глибокою була в нього віра в таку закономірність, якщо, працюючи в самотині, без будь-якої підтримки та розуміння, він протягом багатьох десятків років черпав у ній сили для важкого і кропіткого дослідження руху планет та математичних законів цього руху». Так писав про Кеплера А. Ейнштейн. Їх доречно доповнити словами самого Кеплера з праці «Про себе»: «Навіть короткий час, проведений без користі, спричиняє йому страждання..., він безперестанно зазнає каяття з приводу втраченого часу». А ще: «те, до чого він прагне, прекрасне, і в більшості випадків йому вдавалося збагнута істину». І, нарешті: «Бездіяльність – смерть для філософії; так будемо ж жити й працювати...»

Йоганн Кеплер (1571–1630) народився у невеличкому містечку Вейль недалеко від Штутгарта. Його дитинство минуло в гнітючій убогості на тлі грубих сварок батьків – солдата-найманця та неграмотної дочки сільського трактирника. У п'ятирічному віці він важко захворів на віспу, на шкірі в нього на все життя залишились незаживаючі виразки. З огляду на хвороби печінки та шлунка він змушений був увесь час дотримуватися дієти. У нього була уроджена короткозорість і так звана монокулярна поліопія – хвороба, при якій, дивлячись на певний об'єкт (наприклад, на Місяць), він бачив не одне, а декілька його зображень. «Справді, не можна надивуватися неймовірній силі духа, яка таїлася у цьому слабкому тілі і яка наперекір фізичним стражданням і вкрай несприятливим умовам життя та творчої діяльності дала йому змогу виконати так велику за розмахом роботу і добитися видатних наукових результатів...» (Ю. О. Білий, 1971).

Вже в початковій школі Кеплер виявив неабиякі здібності і тому одержав можливість навчатися далі: спочатку в протестантській

духовній семінарії, а з 1589 р. – у Тюбінгенському університеті. Тут він через два роки склав магістерський іспит і всерйоз готував себе до духовної кар'єри. Щоправда, він під впливом професора математики та астрономії Михаеля Местліна захопився й астрономією. Згодом Кеплер згадував: «...частково з лекцій Местліна, частково з власних міркувань я збирав усі достоїнства, якими Коперник перевищує Птолемея з математичної точки зору».

Однак 1594 р. за декілька місяців до закінчення Кеплером повного курсу сенат університету вирішив послати його як кращого математика до Граца (Австрія) на вакантну посаду вчителя гімназії. Кеплер прийняв це рішення дуже неохоче. В одному з листів Местліну він писав: «Я хотів стати теологом... Тепер однак я бачу, що при старанності можу прославити Бога і в астрономії».

В обов'язки Кеплера в Граці, крім читання лекцій з математики, входило складання календарів; їх він тут уклав шість. Умови для наукової роботи були вкрай поганими. Як зауважив один з його друзів, знатні люди в провінції були дивовижними невігласами у всьому, у своїх судженнях вони дотримувалися варварської точки зору, ненавиділи науку і нічим не цікавилися менше, як ученими. З приводу ж укладання календарів та астрологічних передбачень в них Кеплер в одному з листів писав: «Якщо я створюю календарі та альманахи, то це, без сумніву, – прости мені, Господи, – велике рабство, але воно зараз потрібне. Коли б я цього позбувся хоча б на короткий час, то мені довелося б йти в рабство ще більш принизливе. Краще видавати альманахи з передбаченнями, ніж просити милостиню. Астрологія – дочка астрономії, хоча й незаконна, і хіба не природно, щоб дочка кормила свою матір, яка інакше могла б померти з голоду...»

В таких умовах і з'явилася перша книга Кеплера (Тюбінген, 1596 р.), яка мала назву: «Провісник космографічних досліджень, що містить космографічну таємницю про дивне співвідношення пропорційності небесних сфер, про причину числа, небес, їхні величини, про періодичні їх рухи, загальні і часткові, яка пояснена з п'яти правильних геометричних тіл».

У квітні 1597 р. Кеплер одружився на Барбарі Мюллер, дочці мельника, яку згодом, здається, шокувало низьке суспільне положення її чоловіка, у його справах вона нічого не розуміла і не хотіла

розуміти. Син Генріх, що народився у лютому 1598 р., помер через два місяці від менінгіту, від тої ж хвороби через рік у віці одного місяця померла дочка Сузанна. Почалися переслідування протестантів, і Кеплер разом з сім'єю був змушений шукати пристановище в іншому місці. І якраз тоді він отримав запрошення Тіхо Браге, який, познайомившись з «Космографічним вісником», зрозумів, що саме Кеплер з його видатними математичними здібностями зможе перетворити довгі ряди спостережень у струнку теорію.

КЕПЛЕР У ПРАЗІ. На початку 1600 р. Кеплер прибув до Праги (точніше – у Бенатек, 45 км від Праги). Тут Браге доручив йому опрацювання спостережень Марса. Узявшись з ентузіазмом до цієї справи, Кеплер сподівався, що зможе вирішити проблему Марса за 8 днів, але... зміг здійснити це аж через 8 років. І невідомо, як склалися б відносини між двома великими астрономами, – бо ж вони почали сваритися буквально зразу після приїзду Кеплера (зі своїми помічниками Тіхо вів себе гордовито, а Кеплер бував дуже роздратованим...), але в жовтні 1601 р. Тіхо Браге помер. Кеплерові було присвоєно звання «імператорського математика» і встановлено плату 500 гульденів на рік (у Браге вона сягала 3000 гульденів). Але за всі 20 років своєї служби Кеплер отримав усього $\frac{3}{4}$ однорічного окладу. Жив він зі своєю сім'єю у гнітючій убогості, заробляючи на хліб викладанням математики, складанням календарів та гороскопів (за все своє життя він їх склав понад 800). В таких умовах він закладав фундамент сучасної астрономії...

Кеплер прожив у Празі з 1600 по 1613 р. Після зречення його «покровителя» імператора Рудольфа II (1611 р.) положення Кеплера погіршилося. Він зробив спробу зайняти кафедру математики в Тюбінгенському університеті. Однак консисторія лютеранів відмовила йому на тій підставі, що він у свій час не погодився підписати «формулу згоди» (компроміс між поглядами Лютера і Меланхтона) – своєрідний кодекс лютеранства. У тому ж 1611 р., у лютому, помер від віспи його восьмирічний син Фрідріх, а в липні дружина Барбара.

У ЛІНЦІ. У квітні 1612 р. Кеплер переїхав у Лінц – столицю Верхньої Австрії. Тут головним його завданням було складання таблиць планетних рухів (для нього було створено спеціальну посаду математика). Але в Лінці його знову змушують підписати «формулу згоди». Кеплер погоджується зробити це з застереженням, що він не

вірять, нібито в момент причастя Христос якимсь чином присутній у хлібі і вині. Внаслідок цього Кеплера було виключено з лютеранської общини, і його положення погіршилося ще більше. І як не згадати, що схожа ситуація у нього була десятьма роками раніше. Він не погодився прийняти католицьке сповідання віри, хоча тоді забезпечив би собі вигідне становище і добробут. А мова-то йде про людину, яка говорила про себе, що вона «побожна до марновірства».

У Лінці Кеплер одружився вдруге на Сузанні Рейтінгер, сироті, убогій дочці столяра, що була удвічі молодшою. І вона виявилася гідною свого чоловіка: вона з гідністю зносила усі труднощі й біди, які і в подальшому переслідували Кеплера, підтримувала його у важкий час. А бід було чимало. З семи дітей п'ятеро померло у ранньому віці. Упродовж чотирьох років Кеплер вів важку боротьбу проти звинувачення його матері у «відьомстві». У 1526 р. натовп оточив будинок «еретика» в Лінці, загрожуючи Кеплерові самосудом...

І ось Кеплер знову у Празі в пошуках покровителя. І знову, вкотре, доля спокушує його. Варто йому перейти в католицизм, і імператор Фердинанд забезпечив би йому майбутнє. Але Кеплер цього не зробив, йому вдалося отримати місце в імператорського воєначальника Альбрехта Велленштейна, який забажав мати «домашнього астролога». Так Кеплер у 1528 р. опинився у Сагані (тепер Польща), невеличкому містечку з 4000 мешканцями. Восени 1630 р. він, у намаганні отримати платню, яку не виплачували йому упродовж багатьох років, поїхав верхи у Регенсбург, де Фердинанд II зібрав німецьких князів. Невдовзі після приїзду у це місто Кеплер, перестудившись, важко захворів і 15 листопада 1630 р., на 59-му році життя помер. На його могилі встановлено камінь з написом, що закінчувався словами самого Кеплера:

«Я небеса вимірював; сьогодні ж тінь Землі вимірюю.

Дух мій на небі, тут же тінь тіла лежить».

Невдовзі, під час Тридцятилітньої війни (1618–1648), цвинтар було цілком зруйновано. Лиха доля переслідувала Кеплера навіть після смерті... Його дружина і четверо маленьких дітей (найстаршій дочці було десять років, наймолодшій – сім місяців) залишилися без будь-яких засобів до існування. Про них турбувався зять Кеплера (чоловік Сузанни, дочки від першого шлюбу) Якоб Барч. Але він через три роки помер від чуми. У 1634 р. померли сини Кеплера –

10-річний Гільдебєрт і 12-річний Фрідмар, а в 1636 р. і їхня мати. Доля дочок Кеплера Кордули та Анни Марії невідома.

Таким трагічним було життя як самого Кеплера, так і його близьких. І тим величнішою постає перед нами його «нова гармонія світу», яку йому вдалося встановити (знову ж підкреслимо – завдяки праці Тіхо Браге...).

Усе життя Кеплера було також прикладом боротьби за звільнення астрономії від засилля побічних факторів. Він писав: «У теології має значення авторитет, у філософії – розумні докази. Адже був святим Лактанцій, який відкидав кулястість Землі, святим був і Августин, який визнавав кулястість Землі, але заперечував існування антиподів, святим є і офіційно наших днів, який визнає, що Земля є малою, але відкидає її рух. Для мене ж найсвятішою є істина, коли я при всій моїй повазі до отців церкви доводжу за допомогою філософських роздумів, що Земля має форму кулі, заселена з усіх боків антиподами і займає серед зір зовсім непомітне і незначне місце...»

§ 3. ОНОВЛЕНА КЕПЛЕРОМ АСТРОНОМІЯ

Ось найголовніші етапи наукової діяльності Кеплера та її результати.

«КОСМІЧНИЙ КУБОК» КЕПЛERA. Упродовж першого року перебування у Граці Кеплер затратив багато часу на осмислювання таких проблем: «чому планет усього шість і чому відстані між ними саме такі, як подає Коперник, а не інакші?» Кажучи словами Ю. О. Білого, «будучи впевненим в існуванні мудрого промислу Божого, він думає, що при створенні світу Бог повинен був виходити з простих числових властивостей і співвідношень, використати досконалі геометричні форми».

На ці питання він і намагався дати відповідь у «Провіснику космографічних досліджень», що складався загалом з 23 коротких розділів. У передмові він пише: «Я витратив багато часу на цю задачу з числами, проте не зміг знайти ніякого порядку ні в числових співвідношеннях, ні у відхиленнях від них». Та, як писав учений далі, йому випадково вдалося виявити, що радіус кола, описаного навколо рівностороннього трикутника, удвічі перевищує радіус кола, вписаного у цей трикутник. І тут Кеплера осяяла думка: адже приблизно таке співвідношення між радіусами колових орбіт Сатурна та

Юпітера (за Коперником, $\varepsilon_s : \varepsilon_j = 8,2 : 5,2$). Але, вписуючи між Юпітером та Марсом квадрат, між Марсом і Землею п'ятикутник і т. д., Кеплер переконався, що тут розбіжності з даними Коперника ще більші.

«І ось я знову рушив уперед. Навіщо розглядати фігури двох вимірів для допасування орбіт у просторі? Слід розглянути форми трьох вимірів, і ось, дорогий читачу, тепер моє відкриття у Ваших руках».

Як відомо (і про це вже знали давні греки), у просторі трьох вимірів може бути лише п'ять правильних многогранників, у яких усі грані є правильними і рівними між собою многокутниками, а всі двогранні кути рівні між собою. Це 1) тетраедр (4 трикутні грані), 2) куб або гексаедр (6 граней – квадратів), 3) октаедр (8 трикутних граней), 4) додекаедр (12 п'ятикутних граней) і 5) ікосаедр (20 трикутних граней). Поверхня описаної кулі (сфери) проходить через вершини такого многогранника, а поверхня вписаної – дотикається центра кожної грані, причому центри обох сфер збігаються.

Кеплер і зробив висновок, що саме з цієї причини планет лише шість. «Бо у природі може існувати лише п'ять правильних многогранників». І він «встановлює» між їхніми орбітами по одному многограннику: між Сатурном і Юпітером – куб, між Юпітером і Марсом – тетраедр; між Марсом і Землею – додекаедр, між Землею і Венерою – ікосаедр, між Венерою і Меркурієм – октаедр. Далі Кеплер обчислює радіуси вписаних та описаних сфер.

Хай, наприклад, радіус орбіти Землі, a , отже, і відповідної їй сфери, описаної навколо ікосаедра, становить 1. Тоді радіуси усіх інших сфер будуть такі: 0,419 (0,379), 0,762 (0,719), 1,000, 1,44 (1,52), 5,261 (5,219), 9,163 (9,174). Як бачимо, обчислення Кеплера не дуже відрізняються від встановлених Коперником відстаней планет до Сонця (їх подано в дужках). Щоб усунути розбіжність, Кеплер припустив, що кожна з планетних сфер має певну «товщину». Тут-таки Кеплер говорить: «Аналогічно як джерело світла міститься в Сонці, сама першопричина руху також перебуває у місці, яке займає Сонце, причому, безсумнівно, – у його центрі, і, таким чином, Сонце є водночас вмістилищем життя, руху і світової душі».

Вже у вступі та першому розділі книги Кеплер виявив себе палким прихильником вчення Коперника, сам же «Провісник» був першим недвозначним публічним виступом професіонального астронома на

захист коперниканства. Велике значення мало й те, що в додатку до книги Кеплер вмістив «Першу розповідь» Ретика, яка в часи Кеплера вже була рідкістю. Так вже перша книга Кеплера зіграла важливу роль у пропаганді геліоцентричного світогляду. А тим часом не один учений тоді був дуже обережним. Так, Галілей, отримавши від Кеплера «Провісника», написав йому, що не зважається публікувати наявні в нього докази правильності вчення Коперника, «щоб не спричинити зливи насмішок над нашим учителем». Кеплер тут же продемонстрував йому свою рішучість: «Зважуйтеся, виступимо одночасно... Я думаю, що лише дехто із знаменитих математиків Європи буде проти нас, бо могутність істини велика». Але крім математиків у Європі були ще і філософи, і теологи, і багато з них думали так же, як Маттіас Гафенреффер – головний теолог і ректор Тюбінгенського університету. Це він наполегливо застерігав Кеплера не вміщати у свою книгу розділ про сумісність коперниканської системи з Біблією; мовляв, слід «виступати при викладі таких гіпотез лише як чистий математик, який не повинен турбуватися, чи відповідають ці вчення створеним речам чи ні». А далі чи не головний аргумент: «Нізвідки не впливає, щоб дійсність зразу ж пристосовувалася до придуманих кожним магістром гіпотез».

Кеплер, однак, сміливо пішов уперед.

«**НОВА АСТРОНОМІЯ**». Після публікації «Провісника» Кеплер продовжував пошук числових співвідношень, якими описується рух планет навколо Сонця, надіючись встановити зв'язок між ними і законами музикальної гармонії піфагорійців. Він розумів, що для успіху йому потрібні дані багаторічних спостережень планет, і знав, що єдиною у світі людиною, яка має такі дані, є Тіхо Браге. У листі до Местліна Кеплер писав: «Нехай усі зберігають тишу і прислуховуються до Тіхо, який присвятив 35 років життя своїй обсерваторії... Я чекаю лише Тіхо. Він розтлумачить мені порядок і розташування орбіт. Тоді надіюся, якщо Бог продовжить мені життя, що одного разу я збудую чудову будівлю». І далі: «Тіхо володіє незліченими скарбами, але він не знає, як їх слід використати, як це буває в дуже багатих людей. Отже, хтось повинен силою вирвати ці багатства у нього». Збігом обставин Тіхо опинився у Празі, туди ж важка доля привела і Кеплера. Так, кажучи його словами, матеріал для зведення нової будівлі потрапив до рук вмілого архітектора...

І ось 1609 р. він опублікував книгу «Нова астрономія, причинно обґрунтована, або фізика неба, викладена в дослідженнях руху планети Марс за спостереженням найблагороднішого мужа Тіхо Браге». У ній було сформульовано перші два закони руху планет, що згодом названі іменем Кеплера. Сьогодні ми звичайно їх формулюємо так:

I. Всі планети рухаються по еліпсах, в одному із фокусів яких (спільному для всіх планет) є Сонце.

II. Площі, описувані радіус-векторами планет, пропорційні часу.

У вступі до «Нової астрономії» Кеплер пояснив, чому він у своїй книзі вирішив детально розповісти про успіхи та невдачі, що супроводжували його в роботі: «Для мене важливо не просто повідомити читачеві те, що я повинен сказати, але передусім познайомити його з доведеннями, застереженнями, щасливо перебореними небезпеками, які привели мене до моїх відкриттів. Коли Христофор Колумб, Магеллан і португальці... розповідають, як вони збивалися зі шляху і блукали під час своїх подорожей, ми не тільки пробачаємо їм це, але, що більше, ми не бажаємо пропуску цих розповідей, оскільки тоді при читанні було б втрачено враження про все значне в їхніх заходах. Нехай же тому і мене не звинуватять, коли я, зацікавлюючи читача, піду таким же шляхом у своєму викладі». І далі крок за кроком Кеплер показує, як він розпочинав свої обчислення, використовуючи епіцикли, і врешті-решт дійшов розуміння справжніх законів руху планет.

Кеплер чітко усвідомлював: «Лише Марс надає нам можливість проникнути в таємниці астрономії, які інакше залишалися б назавжди прихованими для нас». Але, згадуючи попередніх дослідників, він зауважує, що «Марс насміхався над їхніми потугами, розстроював їхні задуми і безжально руйнував їхні надії... Давні жалілися на це неодноразово, а невтомний дослідник таємниць природи, найзнаменітějšíй з латинян Пліній оголосив боротьбу з Марсом непосильною для смертних».

Приставаючи до роботи, Кеплер чітко уявляв собі, що рух планет відбувається внаслідок дії на них певної сили, яка виходить від Сонця. Тому площини планетних орбіт повинні проходити через центр Сонця (Коперник же покладав, що площина орбіти Марса коливається у просторі, хоча, звичайно, фізичної причини цього

явища вказати не міг). А, головне, якщо рухом планети керує Сонце, то його сила діє на планету інтенсивніше, коли вона перебуває ближче до джерела, і навпаки. Таким чином, швидкість планети буде різною залежно від її відстані від Сонця.

Покладаючи орбіту Марса коловою, Кеплер (відповідно до уявлень Птолемея про ексцентр і «вирівнюючу» точку) вирішив знайти: 1) радіус орбіти, 2) відстань Сонця від центра орбіти, 3) відстань «вирівнюючої точки» (екванта) від центра орбіти (Кеплер вирішив перевірити правильність твердження Птолемея, що відстані між центром орбіти та еквантом і від центра орбіти до Сонця однакові), а також 4) напрям лінії апсид відносно нерухомих зір. Для визначення чотирьох невідомих величин були взяті дані Тіхо Браге про чотири протистояння Марса: у 1587, 1591, 1593 і 1595 рр. Розв'язок було знайдено методом послідовних наближень, виконаних Кеплером на 900 листах дрібним почерком.

Внаслідок виснажливих обчислень Кеплер встановив, що повний ексцентриситет орбіти Марса дорівнює 0,18564 частин радіуса, причому Сонце віддалене від центра на 0,11332, а еквант – на 0,07232 частин радіуса. Розраховуючи на цій основі положення Марса для інших протистоянь, Кеплер отримав розбіжності, менші від 2'. Якраз такою була точність спостережень Тіхо Браге, похибка яких була настільки великою з огляду на значний діаметр Марса, незадовільне знання паралакса і рефракції. Здавалося б, що все добре. При цьому Кеплер зауважив: «Якщо цей обтяжливий спосіб роботи Вам не подобається, Ви можете слушно пожаліти мене, оскільки я був змушений проробити це принаймні 70 разів з великою затратою часу. Отже, Ви не здивуєтеся, що пройшло вже п'ять років, як я почав займатися Марсом...»

Проте коли Кеплер став обчислювати проміжні положення Марса та зіставляти їх зі спостереженнями, то виявилось, що розбіжності сягають 8'. Щоб належно оцінити цю величину, пригадаймо, що похибка спостережень від Птолемея до Коперника не була меншою 10', а тому обидва творці систем світу могли б цією розбіжністю взагалі знехтувати. Однак Кеплер пише, що «нам же завдяки Божому милосердю дано в особі Тіхо Браге такого сумлінного спостерігача, що в його спостереженнях помилка 8', типова для птолемеївського обчислення, трапляється лише для того, щоб ми з

вдячністю оцінили цю ласку і використали її. Нарешті це ускладнення дає нам можливість знайти справжній вигляд небесних рухів... Таким чином ці 8' вказали шлях до оновлення усієї астрономії, вони стали матеріалом для більшої частини нашої роботи». У підсумку «будову, що її ми звели на фундаменті спостережень Тіхо, ми знову зруйнували... Це було нам карою за довір'я до так правдоподібних, а насправді фальшивих аксіом великих авторитетів минулого».

Після цього Кеплер вирішив відмовитися від уявлення про те, що орбітою Марса є коло, і вирішив передовсім дослідити орбіту самої Землі, на якій перебуває спостерігач. Проте як це зробити? Де взяти орієнтир, який дав би змогу визначити положення Землі відносно Сонця?

Рішення Кеплера було геніально просте: таким орієнтиром буде сам Марс! Адже через кожні 687 діб (сидеричний період обертання планети T) він повертається до тієї самої точки своєї орбіти, через кожні 687 діб його відстань до Сонця (незалежно від того, якою є його орбіта!) буде така сама. Що ж стосується Землі, то за ці 687 діб їй забракне 43,5 доби, щоб здійснити два оберти навколо Сонця. Тому якщо у початковий момент t_0 Сонце, Земля і Марс перебували на одній прямій, то на момент $t_0 + T$ Земля відстане від Марса на кут $\alpha_1 \approx 43^\circ$, на момент часу $t_0 + 2T$ – на кут $\alpha_2 \approx 86^\circ$ і т.д. Точне значення кута α_n можна встановити після того, як виміряно кутову відстань

Марса від Сонця в момент $t_0 + nT$. Тепер завдання зводиться до розв'язування трикутників (рис. 3. 6), в яких відстань Сонце – Марс однакова. Зіставляючи обчислені кути α_n зі спостереженнями, Кеплер знайшов, що ексцентриситет земної орбіти становить 0,01837 і що Земля рухається по ній швидше тоді, коли вона найближче до Сонця (в перигелії). А це, у свою чергу, дало змогу детальніше дослідити й орбіту Марса. Кеплер виявив, то найбільша відстань Марса від Сонця (в радіусах земної орбіти) становить 1,6678, а найменша – 1,3850. Оскільки ж при цьому середня відстань планети від Сонця буде 1,5264, то звідси випливало, що ексцентриситет орбіти Марса

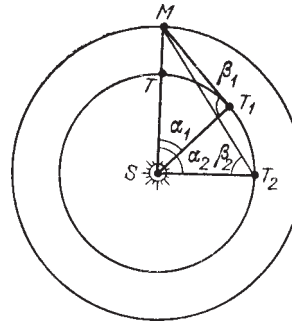


Рис. 3. 6. До визначення Кеплером ексцентриситету земної орбіти.

дорівнює 0,0926, тобто він удвічі менший від знайденої раніше відстані «Сонце – еквант».

Далі, зіставляючи значення швидкості руху Землі в афелії і перигелії, Кеплер дійшов висновку, що ця швидкість обернено пропорційна відстані Землі від Сонця. Він поклав, що це справедливе при будь-якому положенні Землі на її орбіті, для будь-якого моменту часу t , і склав формули, за якими можна було обчислити положення Землі на її орбіті у різні моменти часу.

Після цього Кеплер поділив орбіту Землі на 360 частин так, що моментам часу $t_1, t_2, t_3 \dots t_n \dots t_{360}$ відповідали положення Землі $T_1, T_2, T_3 \dots T_n \dots T_{360}$. При цьому час, необхідний для проходження планетою певного відрізка дуги її орбіти, обернено пропорційний швидкості і прямо пропорційний відстані планети від Сонця. Тому, щоб визначити час, протягом якого планета описує велику дугу, слід скласти всі проміжні відстані «планета – Сонце». Так Кеплер знайшов, що $t_m - t_i \sim a_i + a_k + a_e + a_m$, де a_i – згадана відстань в момент t_i . Виявилось, що ця величина не залежить від того, на якій ділянці орбіти проводиться порівняння. Інакше кажучи, ця сума стала, одна і та ж для всіх ділянок орбіти, пройдених планетою за однакові проміжки часу.

Згадавши далі, як Архімед, визначаючи площу круга, розбивав його на нескінченно велике число трикутників, Кеплер переходить від суми відстаней до площі сектора, описаного радіус-вектором планети. «Отже, — пише він, — площа, що її описує відрізок Сонце – планета, є мірою часу, необхідного для проходження планетою відповідної дуги орбіти». Це і є **другий закон Кеплера**, який був ним відкритий раніше, ніж перший.

Кеплер пише далі: «Поки я таким чином торжествував над Марсом та готував йому, як переможеному, табличне ув'язнення та вирівнювальні-ексцентричні кайдани, щось мені нашіптувало час від часу, що перемога ця ілюзорна і що битва спалахне з попередньою люття. Бо ворог, залишений вдома як полонений, розірвав ланцюги рівнянь та вирвався з табличної в'язниці».

І справді, одного цього закону виявилось замало, щоб давати «прогнози» щодо майбутніх положень планети на орбіті. Необхідно було встановити ще й тип самої орбіти. І Кеплер знову поринає в обчислення. З них випливало, що в точках між афелієм та перигелієм

Марс перебуває ближче до Сонця, ніж це мало б бути, якби орбіта була колом.

То якою ж все-таки є ця орбіта? Це – овал? Чи овоїд (замкнута яйцеподібна крива)? Кеплер у гарячкових пошуках відкидає один варіант за другим. За його словами, «роздумуючи та розмірковуючи, я ледве не заїхав з глузду». І ось: «Правда лежить між колом та овалом, так начебто орбіта Марса є точний еліпс». Проте помістивши Сонце у центр еліпса, він доходить висновку, що це суперечить встановленому ним законові площ.

Продовжуючи пошук, Кеплер нарешті зауважив, що бокова сплюснутість орбіти – різниця між радіусом кола і меншою піввіссю овала становить 0,00429. А це точно дорівнює половині квадрата ексцентриситету, визначеного ним раніше ($0,0926^2 = 0,00857$). Але саме такими і повинні бути співвідношення для еліпса (якщо a та b – відповідно велика і мала півосі, то $b = a\sqrt{1-e^2}$ і при $e \ll 1$ маємо $b = a(1 - e^2)^{1/2} \approx a(1 - 1/2e^2)$, а також $\frac{a-b}{a} \approx \frac{1}{2}e^2$). Ще обчислення – і орбіта планети знайдена. Кеплер робить висновок, що Сонце знаходиться не в центрі, а в фокусі еліптичної орбіти, по якій рухається планета. Так він, «не перестаючи обмацувати усі місця навколишньої темряви, вийшов, нарешті, на яскраве світло істини».

Одночасно він виявив, що орбіта Марса нахилена до площини екліптики під кутом $1^\circ 50'$. У 1614 р. він перевіряв справедливості знайдених ним законів руху планет для Венери, а через рік і для Меркурія. Після не менш виснажливих обчислень він визначив параметри орбіт для всіх тоді відомих планет.

«ГАРМОНІЯ СВІТУ». Варто згадати, що водночас Кеплер розглянув і ряд інших проблем. Так, 1604 р. вийшла його книга «Додатки до Віттелія, в яких викладена оптична частина астрономії», що стала видатною подією в історії фізики. У ній Кеплер, зокрема, довів, що інтенсивність світла обернено пропорційна квадратові відстані від джерела світла, вказав на існування сонячної корони, відкрив явище повного внутрішнього відбивання, описав анатомічну будову ока, дію окулярних лінз і за кілька років до побудови перших телескопів дав їх математичне обґрунтування. Згодом у своїй книжці «Діоптрика» (1611 р.) він запропонував використовувати при побудові телескопів комбінацію двох двоопуклих лінз. І ось 1619 р. вийшла друком

книга Кеплера «Гармонії світу п'ять книг», в якій було дано виведення його третього закону.

У перших чотирьох частинах цієї книги Кеплер розповідає про правильні многокутники, продовжує свої спроби знайти певний зв'язок між параметрами планетних орбіт та окремими співвідношеннями в правильних многокутниках, в теорії чисел, теорії музики. П'ята частина має назву «Найдосконаліша гармонія в небесних руках і походження ексцентриситетів, радіусів орбіт і часів обертання, що їй стосуються». Починається вона словами: «Те, що я передбачав уже 22 роки тому ще до того, як я знайшов п'ять основних систем небесних орбіт; в чому я сам був цілком переконаний ще до того, як прочитав «Гармонію» Птолемея; про що я писав своїм друзям ще до того, як повністю переконався у своїй правоті; про що я 16 років тому писав як про досліджувану проблему; чому я присвятив значну частину свого життя, провадячи астрономічні спостереження, що змусило мене розшукати Тіхо Браге та обрати за місце мешкання Прагу, – те я, нарешті, здійснив, і мені це вдалося сформулювати краще, ніж я коли-небудь сподівався. Цим я знайшов наявність гармонії як у цілому, так і в частковому. Свою задачу я здійснив не тим шляхом, який здавався мені правильним, а зовсім іншим, надзвичайно досконалим і для цієї справи придатним».

І далі: «Досі ми говорили про різноманітні проміжки часу і [пройдені за цей час] дуги для однієї і тієї самої планети. Тепер же повинна піти мова про рухи двох планет, які порівнюються одна з одною... І ось після того як безперервною працею протягом тривалого часу зі спостережень Браге були знайдені правильні проміжки орбіт, нарешті справжня пропорція між періодами та розмірами орбіт,

*...хоча й пізно, помітила бездіяльного,
помітила все-таки і прийшла після тривалого часу...*

І якщо бажана така згадка про час, – вона зародилася в моєму розумі 8 березня тисяча шістсот вісімнадцятого року, проте була невдало підрахована і тому відкинута як фальшива; але коли я 15 травня повернувся до неї та взявся з новим захопленням, вона, нарешті, перемогла сліпоту мого розуму; це було такою великою нагородою і моєї сімнадцятирічної праці над спостереженням Браге, і направленою згідно з нею роздуму, що я спочатку був ладен

подумати; що сплю і вгадую шукане серед даних. Але найвищою мірою правильне і точне те, що відношення між періодами обертань яких-небудь двох планет якраз дорівнює полуторному степеневі відношенню їх середніх відстаней, тобто радіусів орбіт...»

Сьогодні ми формулюємо цей закон дещо інакше: *квадрати сидеричних періодів обертання планет відносяться як куби великих півосей їх орбіт.*

Як зауважив А. Беррі (1946), «хоча «Гармонія світу» є великою книгою, однак у ній навряд чи знайдеться щось цінне, крім того, що ми сказали. Значна частина її зайнята повтореннями думок, висловлених раніше в «Провіснику», а майже вся остання частина наповнена маловартісними аналогіями між пропорціями Сонячної системи і співвідношеннями між різними музикальними гамами. Кеплер сміливо відтворює «музику сфер». Ось приклад його міркування: «Земля співає ноти *MI, FA, MI*, звідки можна здогадатися, що в нашій юдолі царюють *MIseria* (убогість) та *FAmes* (голод)».

А тим часом він міг виявити ще одну дивну закономірність у планетній системі, пов'язану з добре відомим йому «божественним перерізом», який раніше Леонардо да Вінчі назвав «золотим перерізом»: відрізок довжиною a ділиться на частини b і $a - b$ так, що виконується відношення $b : a = (a - b) : b$, або $b^2 = a(a - b)$. Поклавши $x = b/a$, отримуємо рівняння $x^2 + x - 1 = 0$ і його розв'язки $x_1 = 0,61803398875$ та $x_2 = -1,61803398875$. Легко переконатися, що $x_1 = -1/x_2$. Число $\Phi = 1,61803398875$ названо «золотим числом». Давно зауважили, що воно присутнє «у всьому, що гарне»: у творах античних скульпторів та архітекторів, у пропорціях людини й тварини, комах і рослин. В музиці найсприятливішими для слуху є ті акорди, які мають інтервали, при яких співвідношення частот, що входять в акорд, близьке до числа Φ . Цікавим тут є те, що оскільки $\Phi = 1 + \Phi^{-1}$, $\Phi^2 = \Phi + 1$, то ряд, складений з послідовних степенів Φ (... Φ^{-1} , Φ^0 , Φ^1 , Φ^2 , Φ^3 , ...), являючись геометричною прогресією, тобто маючи мультиплікативні властивості, водночас має і адитивні властивості: у ньому кожний наступний член ряду дорівнює сумі двох попередніх.

Отже, недавно було виявлено (К. П. Бутусов, 1973), що частоти обертань планет навколо Сонця і різниці частот обертань утворюють спектр з інтервалом, рівним Φ , тобто спектр, побудований

на основі «золотого перерізу»! Так, якщо розглядати середні періоди обертання планет, то кожний наступний приблизно дорівнює попередньому, помноженому на Φ або на Φ^2 , як це видно з наступної таблички:

Таблиця 5

Планета	T	n	Φ^n	Планета	T	n	Φ^n
Меркурій	0,241	-3	0,236	Церера	4,605	3	4,236
Венера	0,615	-1	0,618	Юпітер	11,862	5	11,090
Земля	1,000	0	1,000	Сатурн	29,458	7	29,034
Марс	1,881	1	1,618	Уран	84,015	9	76,013

Дивними все-таки є оці збіги: чомусь Піфагор намагався «почути» цю «гармонійну музику сфер», чомусь Кеплер шукав певну гармонію – і чомусь вона таки виявила себе у вказаній тут залежності...

«НАРИСИ КОПЕРНИКАНСЬКОЇ АСТРОНОМІЇ». Трьома частинами, 1618, 1620 і 1621 рр. (усього близько 1000 сторінок тексту), вийшла книга Кеплера «*Epitome Astronomiae Copernicanae*», тобто «Нариси (точніше – скорочення) коперниканської астрономії». Це був перший підручник з астрономії, написаний у формі запитань і відповідей, який базувався на зовсім нових принципах. В «Нарисах» центральне місце в планетній системі зайняло Сонце, планети ж обертаються навколо нього по еліптичних орбітах. Тут «наш світ з його Сонцем є одним з незлічених світів». Молочний Шлях – це кільце зір, поблизу площини якого розташоване Сонце з планетами. Закони руху планет використано для опису обертання Місяця навколо Землі. Кеплер також застосовує свій третій закон при розгляді системи чотирьох супутників Юпітера, незадовго перед тим відкритих Галілеєм.

В «Нарисах» Кеплер здійснив переоцінку відстані від Землі до Сонця, яку упродовж 1800 років, з часів Гіппарха, приймали рівною 1200 радіусів Землі. Хід міркувань Кеплера був таким: якщо вказана відстань правильна, то добовий паралакс Сонця мав би становити близько 3'. Марс же у протистоянні буває у 2,5 раза ближче, ніж Сонце, тому і його паралакс має бути відповідно більшим. Але ніякого паралакса в Марса Кеплерові виміряти не вдалося. Звідси випливало, що і Марс, і Сонце є значно далше від Землі. І тут Кеплер виходив з уявлень про гармонію, притаманну Сонячній системі: мовляв, якщо Земля є пристановищем істот, які проводять вимірювання, то є підстави очікувати, що розміри Сонячної системи перебувають

у певному простому співвідношенні з розмірами Землі. Кеплер прийняв, що об'єм Сонця у стільки разів більший від об'єму Землі, у скільки разів його відстань перевищує земний радіус. Отримане Кеплером значення астрономічної одиниці було ближчим до справжнього, ніж попередні оцінки, але все ж приблизно в сім разів менше від реального. Кеплер приймав, що паралакс Сонця дорівнює $0'59''$, а паралакс Місяця $58'21''$. Так виходило, що відстань до Сонця в 59 разів більша, ніж до Місяця, який в апогеї є на відстані $59R_{\oplus}$. Кеплер приймає далі, що 1° дуги великого кола Землі дорівнює 15 німецьким милям, тоді її повна дуга великого кола дорівнює 5400 миль (1 німецька миля=7,42 км), радіус Землі – 860 миль (6381 км) і відстань до Місяця – 50 740 миль (376 490,8 км).

Далі Кеплер «апріорі вивів», що «радіус Сонця відноситься до радіуса сфери Сатурна так же, як цей останній – до радіуса сфери нерухомих зір. Якщо це припущення правильне, то радіус сфери Сатурна становить лише $\frac{1}{2000}$ радіуса сфери нерухомих зір, радіус сфери, яка вміщає Землю і Місяць, сягає ледве $\frac{1}{20\ 000}$ радіуса сфери нерухомих зір», а «радіус місячної сфери дорівнює $\frac{1}{59}$ сфери, що вміщує Землю і Місяць». Отже, відстань від Землі до нерухомих зір за Кеплером дорівнює 20 000 а.о. або наближено 70 млн. радіусів Землі (тобто близько 447 млрд. км).

В «Нарисах» Кеплер детально виклав теорію сонячних і місячних затемнень. Явище припливів він пояснив притяганням Місяця. Кеплер поставив також питання про фізичну причину планетних рухів, повторюючи висловлені раніше в «Новій астрономії» погляди, що тяжіння є властивістю всіх тіл однакового типу. Тут цікавими є такі його міркування: «Будь-яке небесне тіло з огляду на його матеріальність має природну нездатність рухатися з одного місця в інше, тобто природну інерцію спокою, в якому місці б не перебувало... Якби матерія небесних тіл не мала інерції, яка подібна до ваги, то не було б потрібно майже ніякої сили для того, щоб привести їх у рух; найменшої сили було б досить, щоб надати їм нескінченну швидкість. Оскільки, однак, періоди планетних обертань займають певний час (деякі планети мають коротший період, інші довший), то ясно, що матерія повинна мати інерцію, яка пояснює цю відмінність».

Процес руху планет у Кеплера обумовлений дією двох протилежних факторів, бо тут «є боротьба зміщуючої сили Сонця та

імпотенції, або матеріальної інерції, планет». Планети ніби поділяють із Сонцем його власне обертання. Від Сонця до планет простягається певна «рушійна сила», аналогічна до променів світла і тепла, яка і втягує планету в рух навколо Сонця. І – обидва згадані тільки що почала «у певному відношенні отримують перемогу, бо перше зсуває планету з місця, а друге частково звільняє тіло планети від зв'язуючих її кайданів..., але лише до того моменту, коли вона знову підхоплюється цією обертаючою силою». Дія ж «рухаючої душі» Сонця спрямована не вздовж прямої «Сонце – планета», а перпендикулярно до неї. Щоб пояснити рух планет по еліптичних орбітах, Кеплер вважав, що всі планети є магнітами, сили яких то відштовхуючі, то притягуючі, складаються з дією Сонця.

В 1627 р. вийшли з друку «Рудольфові таблиці», які упродовж майже ста років використовувалися для передобчислення положень Сонця, Місяця і планет і які були настільною книгою астрономів та мореплавців. У цій книжці вміщено також каталог 1005 зір, в основу якого взято каталог 777 зір, складений Тіхо Браге, вміщено таблиці рефракції, географічні координати найбільших міст світу тощо.

Вже після смерті Кеплера, 1634 р., опубліковано його науково-фантастичний твір «Сон, або посмертний твір про місячну астрономію». Це – перша в історії астрономії книга, в якій явища описано так, як їх спостерігач побачив би, перебуваючи на Місяці. Як зауважив Кеплер у Примітках до цієї книги, «мета мого «Сну» полягає в тому, щоб на прикладі Місяця дати докази на користь руху Землі». Ці примітки складено після 1620 р., коли вчення Коперника вже зазнавало гонінь. Ще раз виступивши на його захист, Кеплер писав: «Відносно праці Коперника несправедливість іде від людей, які не знають астрономії... Вони вважають, що книгу Коперника не можна читати, не виключивши з неї передовсім рух Землі. Думати так – все одно, що стверджувати, нібито книгу Коперника неможливо читати, не спаливши її спочатку...»

До речі, обговорюючи в «Нарисах» добу обертання Землі, Кеплер на доказ цього наводить твердження, що «природа для досягнення своєї мети завжди використовує найпростіший шлях». Такими, зокрема, найпростішими шляхами для планет виявилися еліптичні орбіти замість складної павутини епіциклів...

Розділ 12. «ЗЕМЛЯ ТАКИ РУХАЄТЬСЯ»: ГАЛІЛЕЙ

«Аж до кінця XVI ст. фізичним фундаментом уявлень про будову світу в цілому залишалася давня фізика Аристотеля. Продовжували панувати уявлення про принципову різницю матерії, з якої складаються земні, «підмісячні» тіла, і тої, яка утворює тіла небесні (невагомі, ефірні). Принципово різними вважалися і самі фізичні закони у підмісячному і надмісячному світі. Фізика ж все ще зводилася до механіки (статики і кінематики). Рухи ще поділялися на «природні» і «насильницькі» (перші – це нібито природжені рухи легких тіл вверх, а важких вниз для підмісячного світу і другі – колові, вічні, для невагомих небесних тіл)...

Зовсім інша ситуація склалася з появою геліоцентричної концепції Коперника. Вже одне те, що Земля є звичайною планетою, змушувало усумнитися у фізиці Аристотеля в цілому і з більшою увагою прислухатися до критичних зауважень про його механіку. Виник серйозний стимул для безпосередньої перевірки законів механіки на Землі, тобто до розвитку експерименту. Наслідком цього став крах усієї фізичної картини світу Аристотеля і передовсім його механіки. Початок цього великого перевороту в механіці пов'язаний з іменем великого італійського фізика та астронома Галілео Галілея (1564–1642) – одного із засновників сучасного теоретико-експериментального природознавства. Йому ж належить і не менш велика заслуга отримання перших спостережницьких свідчень на користь правильності геліоцентричної планетної теорії Коперника.

В механіці Галілей заклав основи сучасної кінематики, закони якої він вивів внаслідок спеціально поставлених експериментів... Галілей заклав основи майбутнього наукового методу вивчення природи, який полягає в кількісному аналізі спостережуваних окремих явищ та узагальненні їх у вигляді встановлення загального закону. З такого підходу розвився згодом індуктивний метод пізнання природи: від окремого до загального» (А. Й. Єремєєва, Ф. О. Цицин, 1989).

§ 1. ГАЛІЛЕЙ І ЙОГО «ЗОРЯНИЙ ВІСНИК»

Галілео Галілей народився у Пізі 15 лютого 1564 р. в сім'ї музиканта і математика Вінченцо Галілея. У 17-річному віці молодий Галілей поступив у Пізанський університет вивчати медицину. Біографи Галілея звертають увагу на той факт, що тоді професор медицини

отримував зарплату 2000 скуді на рік, тоді як професор математики усього 60. І все ж, прослухавши випадково урок з евклідової геометрії, Галілей настільки захопився нею, що закинув медицину і спочатку таємно, а згодом і з дозволу батька відкрито слухав курс математики. Однак через відсутність коштів він 1585 р. був змушений залишити університет, не закінчивши курс і не отримавши вчений ступінь. Декілька років він залишався вдома і з неймовірною жадобою оволодівав основами математики і фізики. У 1589 р. Галілей став професором математики та астрономії Пізанського університету. Пізніше, з 1592 по 1610 р., він був професором фізики і математики Падуанського, а з 1610 р. – Флорентійського університетів.

УСПИХИ ВМЕХАНІЦІ Й ОПТИЦІ. Одною з перших проблем, що зацікавили Галілея, було вільне падіння тіл. Як вже згадувалося, за Аристотелем тіла падають на Землю з швидкостями, які пропорційні їхній вазі: тіло масою 5 кг має падати у п'ять разів швидше від тіла масою 1 кг. З цього приводу англійський фізик Олівер Лодж (1851–1940) у своїй книжці «Піонери науки» (1901) писав так: «Чому він так думав, ніхто не знав. Він міг не робити дослідів. Він не ставив себе вище досліду, просто йому, мабуть, ніколи не довелося засумніватися у цьому факті... Йому, можливо, пригадався камінь і пух, і він задовольнився».

Проте Галілей не був схильний повторювати чужі фрази. Уже перебуваючи в Пізі, він у своїх лекціях твердив, що всі тіла, скинуті з певної висоти, падають з однаковою швидкістю і досягають поверхні Землі одночасно. О. Лодж пише: «І він не задовольнився тим, що його осміяли. Він знав, що правда на його боці, і вирішив показати факти такими, якими вони є. І ось одного чудового ранку в присутності усього університету він піднявся на відому падаючу вежу, взявши з собою два ядра: стофунтове та однофунтове. Він встановив їх на краю вежі і пустив обидва одночасно. Вони полетіли разом і разом же діткнулися Землі. Глухий удар падаючих ядер об землю прозвучав як похоронний дзвін над старою системою фізики і провістив зародження нової.

Але чи сталася зміна? Чи переконались його суперники? Анітрохи. Хоча вони чули на власні вуха голос істини і бачили на власні очі світле небо над собою, вони все таки пішли з бурчанням та незадоволенням до своїх старих, заплених фоліантів, на свої ветхі

горища, щоб пошукати даних для спростування факту і приписати його наявність невідомій збурювальній причині. Вони почували, що якщо поступляться в одному цьому пункті, то відірвуться від якоря, і течія понесе їх уперед, у невідому далечінь. Вони не наважилися на це.

Проте їм було завдано удару..., і вони зненавиділи Галілея..., зненавиділи страшною ненавистю людей, які борються за вмираючу стару істину» (щоправда, у документах з часів Галілея про цей експеримент не згадується).

Зради справедливості треба сказати, що питання про падіння тіл з різними масами вивчали експериментально багато дослідників задовго до Галілея. До правильного висновку дійшов ще в VI ст. Іоанн Філопон, а в XVI ст. – зразу п'ять учених, зокрема 1553 р. Бенедетті. Однак ніхто з них не зробив належних висновків та узагальнень.

На початку XVI ст. в Європі з'явилися перші телескопи («перспективи», термін «телескоп» увів дещо пізніше філолог Доменісіані (1576–1614)). Щоправда, можна згадати: рівно за сто років до Галілея Леонардо да Вінчі записав у своєму щоденнику: «Зроби окулярні стекла для очей, щоб бачити Місяць великим», а в одному з рукописів Леонардо знайдено рисунок дволінзового телескопа, в якому роль об'єктива відіграє плоскоопукла, а окуляра – двоопукла лінза. Загалом же відкриття лінзового телескопа приписують одному з двох голландських фабрикантів окулярів – Захарія Янсену (1604 р.) або Францу Ліпперсгею. Цей другий у жовтні 1608 р. зробив заявку на видачу йому патента. Якимсь чином Галілей дізнався про це і в травні 1609 р. сконструював свій телескоп (рис. 3. 7).

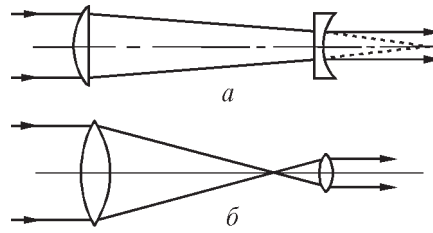


Рис. 3. 7. Схеми телескопів Галілея (а) і Кеплера (б).

У своїй першій книжці «Зоряний вісник» (березень 1610 р.) про це Галілей пише так: «Місяців десять тому до наших вух дійшла чутка, що певний нідерландець побудував перспективу, за допомогою якої зримі предмети, хоча б і віддалені на велику відстань від ока спостерігача, були чітко видні ніби зблизька; про дивовижну дію цього приладу розповідали деякі знавці; їм одні вірили, інші їх відкидали...; це було приводом, що я

цілком віддався дослідженню причин, а також придумуванню засобів, які дозволили б мені стати винахідником такого приладу; згодом, заглибившись у теорію заломлення, я цього досягнув; спочатку я зробив собі свинцеву трубу, на кінцях якої я пристосував два оптичні скла, обидва з одного боку плоскі, а з другого перше було сферично опуклим, а друге – вгнутим; наблизивши після цього око до вгнутого скла, я побачив предмети досить великими і близькими, вони здавалися утричі ближче і в дев'ять разів більшими, ніж при їх спостереженні простим оком... Нарешті, не щадячи ні праці, ні витрат, я побудував прилад до такої міри чудовий, що за його допомогою предмети здавалися... більш як у тридцять разів ближче...»

Дві зорові труби Галілея і розбитий об'єктив третьої зберігаються в Музеї історії науки у Флоренції. Фокусна відстань найбільшої, розбитої лінзи 168,9 см, діаметр 5,8 см. Збільшення, отримване при застосуванні окуляра другої зорової труби ($f_2 = -4,88$ см, $d_0 = 1,7$ см) дорівнює 34,6^x. Усі зорові труби, які вживали до Галілея, давали збільшення лише в 3–6 разів. Галілей удосконалив технологію виготовлення лінз, оскільки виявилось, що техніка обробки лінз для побутових окулярів недостатня для їхнього використання у зоровій трубі. Очевидно, Галілей першим сконструював і мікроскоп, про що є свідчення його сучасників.

«**Зоряний вісник**». Ця невелика книга свідчить: нікому до Галілея не вдалося, спрямувавши вже відому в той час «перспективу» на небо, провести в так короткий час стільки спостережень і зробити з них стільки важливих наукових висновків. Галілей же виявив надзвичайну працьовитість; він умів спостерігати, систематизувати дані спостережень і робити з них теоретичні узагальнення...

Отож, описавши зусилля, затрачені на виготовлення телескопа, Галілей продовжує у «Віснику»: «Скільки і які зручності маємо від такого інструмента як на землі, так і на морі, перелічувати було б зовсім зайвим.

Але, залишивши земне, я обмежився дослідженням небесного і спочатку спостерігав Місяць настільки близьким, як ніби він був віддалений усього лише на два діаметри Землі». І далі: «...ми дійшли такої думки, що з повною впевненістю можемо вважати поверхню Місяця не такою вже й гладкою, рівною і з найточнішою сферичністю, як велика кількість філософів думає про неї та про інші небесні

тіла, але, навпаки, нерівною, шорсткою, вкритою западинами та височинами, цілком подібною до поверхні Землі...»

Галілей тут же обчислив висоту гір на Місяці. Приймаючи, що земний діаметр «згідно з точнішими спостереженнями» містить 7000 італійських миль, а діаметр Місяця відноситься до діаметра Землі, як два до семи, так що діаметр Місяця дорівнює 2000 миль, він знаходить, що висота гір на Місяці може перевищувати 4 милі, і зауважує: «На Землі немає таких гір, які по вертикалі сягають висоти в одну милю, отже місячні височини більші від земних. Тут же він пояснює попелясте світло Місяця (вперше зауважене Леонардо да Вінчі) тим, що «Земля по справедливості і взаємовигідному обміну повертає Місяцеві таке ж освітлення, яке вона сама отримує від Місяця...»

«...тепер скажемо коротко про те, що нами було виявлено в нерухомих зорях. Передовсім гідне подиву те, що зорі, як нерухомі, так і блукаючі при розгляданні в трубу ніяк не виглядають збільшеними у розмірах у тій же пропорції, як це буває в інших предметах і навіть у Місяця... Гідна також зауваження різниця між виглядом планет і нерухомих зір. А саме, планети – кульки цілком круглі і чітко окреслені; нерухомі зорі ніяк не мають вигляду обмежених колом круга, але наче певні вогні, що мерехтять і оточені навколо променями, які коливаються; розглядувані у зорову трубу, вони мають таку ж природу, як і при спостереженні простим оком, але лише таких розмірів, що зоря п'ятої і шостої величини виглядає рівною Псові (Сиріусу) – найбільшій серед усіх нерухомих зір. Правда, нижче шостої величини зауважуєш через зорову трубу таке численне стадо інших зір, що ледве можна повірити...

Третім предметом була сутність або матерія Молочного Шляху. За допомогою зорової труби її можна настільки відчутно спостерігати, що всі суперечки, які протягом стількох віків мучили філософів, знищуються наглядним свідченням, і ми позбудемося багатослівних диспутів. Справді, Галаксія є не чим іншим, як зібранням численних зір, розташованих групами. В яку б його ділянку не спрямувати трубу, зразу ж зору трапляється незліченна множина зір, багато з яких здаються достатньо великими і добре помітними. Багато ж дрібніших не піддається дослідженню».

І, нарешті, про відкриття супутників Юпітера, цієї маленької моделі Сонячної системи: «Тепер залишається те, що у цій справі є,

можливо, найважливішим, а саме, що ми відкрили (і доводимо це до загального відома) чотири планети, ніким ще не бачені від початку світу до наших днів..., вони... то рухаються услід за Юпітером, то випереджають його і віддаляються від нього або до сходу, або до заходу, здійснюючи лише дуже невеликі відхилення, і ніхто не може сумніватися в тому, що вони навколо нього і здійснюють свої обертання... Крім того, вони здійснюють обертання по неоднакових колах».

А тепер ось це головне: «... ми маємо чудовий і найясніший доказ для усунення сумнівів у тих, які спокійно ставляться до обертання в коперниківській системі, але настільки бентежаться рухом одного Місяця навколо Землі, у той час як вони обидвоє сумісно описують навколо Сонця річне коло, що навіть вважають необхідним відкинути таку будову всесвіту як неможливу. Тепер ми маємо не лише одну планету, яка обертається навколо іншої, тоді як обидві вони обходили велике коло навколо Сонця, але наші відчуття показують нам чотири світила, які обертаються навколо Юпітера, як Місяць навколо Землі, тоді як всі вони разом з Юпітером протягом 12 років описують велике коло навколо Сонця...»

Описані у «Віснику» відкриття Галілея стали сенсацією (тираж 550 екземплярів розійшовся за декілька днів). Друзі раділи, прихильники Аристотеля оголосили йому непримиренну боротьбу. Перший полемічний твір, спрямований проти Галілея, написав учень Кеплера Мартин Горкі. Якщо сам Кеплер вітав ці відкриття і в одному листі болонському астроному Маджині писав: «Ми обидва коперниканці; свій своєму радіє», то Горкі у «Найкоротшому проходженні проти «Зоряного вісника» писав, що супутники Юпітера – це результат відбивання і заломлення в оптичних трубах. Через рік у Венеції вийшла книга Франческо Сіцці «Роздуми про астрономію, оптику, фізику» (1611 р.). У ній автор твердить, що число планет не може бути більше семи, оскільки у Старому Завіті згадується семисвічник, а це нібито означає сім планет. Далі, в голові є сім отворів, «а також з того, що... існує сім металів..., ми вбачаємо, що планет повинно бути обов'язково сім. Крім того, супутники не видні для простого ока, а тому не можуть створювати вплив на Землю, отже вони не потрібні, а тому не існують».

Певною мірою скептиків того часу все ж можна оправдати: перші телескопи давали дуже погане, не завжди різке і чітке зображення.

Так, одного разу Галілей демонстрував супутники Юпітера в телескоп великій групі професорів, і... майже всі вони заявили, що нічого не бачили...

Нововідкриті тіла Галілей назвав «Медиційськими світилами» на честь свого покровителя Козімо Медичі, великого герцога Тосканського. Однак невдовзі Кеплер запропонував загальну назву – супутники, оскільки всім було ясным, що ці світила утворюють новий розряд тіл, відмінних від планет.

§ 2. Виступ проти коперниканства

Як зауважив А. Беррі (1946), відкриття супутників Юпітера стало доказом помилковості старої доктрини, нібито Земля – єдиний центр руху. Воно серйозно підірвало віру в непомильність Аристотеля і Птолемея, які, без сумніву, не підозрівали існування таких тіл. І, нарешті, зникла, механічна перешкода у визнанні концепції Коперника, за якою Місяць міг обертатися навколо рухомої Землі, не відстаючи від неї: «адже робили щось цілком аналогічне супутники Юпітера...»

Та склалося так, що – саме в ту пору, здавалося б, переконливих відкриттів – вищими, керівними колами католицької церкви було зроблено все, щоб цей процес наукового розвитку і пошуку перервати, дискредитувати, щоб повернути астрономію на півтори тисячі років назад. У своєму трактаті «Лист до великої герцогині Христини» (1615 р.) Галілей писав: «Заборонити Коперника тепер, після того, як в численних спостереженнях і дослідженнях його праць вченими день від дня все більше розкривається правдивість його тверджень і все більше укріплюється його доктрина; заборонити його після того, як його допускали упродовж декількох років..., – це було б, на мою думку, злочином проти істини; це доводило б спробу заховати і знищити її з тим більшою силою, чим більше вона стає очевидною і зрозумілою».

Цей злочин таки вчинено, і в ньому Галілеєві довелося зіграти свою трагічну роль. Але до цього ним було зроблено ще декілька важливих відкриттів, які логічно вкладалися в ту ж таки коперниканську доктрину.

Звіт папських астрономів. Передбачаючи нелегку боротьбу за утвердження коперниканства, Галілей зав'язав стосунки з папськими астрономами, однак це мало допомогло. Події ж розгорталися

таким чином. У липні 1610 р. Галілей зауважив, що «зоря Сатурн не є лише одною, але складається з 3, які як би торкаються одна одної, але між собою не рухаються і не змінюються; вони розташовані рядом по довжині Зодіаку, причому середня з них приблизно в 3 рази більша, ніж 2 бокові...» Про це Галілей писав тосканському міністрові Вінте. А 30 грудня цього ж року він повідомляє голові Римської Колегії астроному-єзуїту Христофорові Клавію про відкриття ним фаз Венери: «...коли я почав спостерігати на початку її вечірньої появи, побачив її такою, що має круглу форму, але дуже маленьку. Продовжуючи далі спостереження, я виявив, що вона дуже помітно збільшується в розмірах., доки, наблизившись до свого найбільшого відхилення, вона не почала зменшувати свою круглість з боку, оберненого до Сонця, і за декілька днів перетворилася в фігуру півкруга., доки вона не почала відступати у напрямі до Сонця., тут вона починає ставати помітно рогатою...» І далі – важливий висновок: «Так ось, мій сеньйоре, з'ясовується, як Венера (і, безперечно, що те ж саме зробить і Меркурій) рухається навколо Сонця, що є поза будь-яким сумнівом центром найбільших обертань усіх планет. Крім того, ми впевнені, що ці планети самі по собі є темними і блищать лише освітлені Сонцем, чого, як я гадаю, не відбувається з нерухомими зорями., і що ця планетна система, напевне, побудована зовсім не так, як про це звичайно думають».

Це була відповідь главі папських астрономів, який дещо раніше повідомив Галілеєві, що він спостерігав супутники Юпітера і зауважив витягнуту форму Сатурна. Відкриття фаз Венери само по собі не було доказом правильності теорії Коперника в цілому, але доказом того, що Венера обертається навколо Сонця. Звідси ж випливали наступні висновки: Сонце таки є центром обертань Меркурія і Венери, а, отже, з високим ступенем імовірності, – також і Землі та інших, верхніх планет. І вже в будь-якому випадку система Птолемея була непридатною для її подальшого використання, як кажуть, «їй не залишалося більше місця в науці».

Як зауважив М. Я. Вигодський (1934), виступи проти Галілея, подібні до книг Горкі, Сіцці, «повинні були переконати Галілея в тому, що дальша публікація його праць буде безкорисною з точки зору пропаганди нового світогляду і нічого крім неприємностей не принесе йому, якщо він не забезпечиться схваленням керівних

церковних авторитетів. Якщо його відкриття не будуть належно оцінені людьми, які користуються авторитетом як у науковому, так і церковному світі... Таку апробацію Галілей міг отримати лише в Римі, лише за допомогою Римської колегії; тому Галілей і вирішив відправитися в Рим...» Туди він прибув наприкінці березня 1611 р. Через декілька днів він повідомляв згаданому Вінте ось що: «...я був в отців єзуїтів і довго розмовляв з патером Клавієм та двома іншими отцями, які добре знають свою професію... Я застав їх, коли вони не без сміху читали надруковану недавно проти мене книгу Франческо Сіцці... Я виявив, що згадані отці, довівши нарешті істинність нових Медиційських планет, протягом двох місяців безперервно спостерігали їх, що вони продовжують і тепер... Ще вони трудяться над визначенням періодів їх обертань...»

Через 20 днів глава інквізиції кардинал Роберт Беллармін зробив письмовий запит в астрономів Римської колегії: «...Я бажаю, щоб ви... висловили відкрито свою думку відносно таких речей: 1) Чи погоджуєтеся ви з тим, що є велика кількість нерухомих зір, невидимих простим природним зором... 2) Що Сатурн не є простою зорею, але трьома зорями, з'єднаними разом, 3) Що в зорі Венери є зміни вигляду, і вона зростає і убуває як Місяць, 4) Що Місяць має нерівну і шорстку поверхню, 5) Що навколо планети Юпітер бігають чотири рухомі зорі з дуже швидкими і відмінними один від одного рухами».

Відповідь чотирьох астрономів, копія якої збереглася в паперах Галілея, була ствердною: «На 1-ше: правильно, що при спостереженнях у зорову трубу з'являється велика кількість зір; можна з імовірністю покладати, що в Молочному Шляху також є величезна кількість зір, яких не можна бачити окремо внаслідок того, що вони є вкрай малими. На 2-ге: ми спостерігали, що Сатурн не є круглим, як бачимо Юпітера і Марса, але він має яйцеподібну і продовгувату форму... На 3-те: цілком правильно, що Венера зменшується і зростає, як Місяць... На 4-те: не можна заперечувати великих нерівностей на Місяці... На 5-те: поблизу Юпітера видніють чотири зорі, які дуже швидко рухаються то... до сходу, то... до заходу..., вони не можуть бути нерухомими зорями, оскільки мають рух дуже швидкий і найвищою мірою відмінний від нерухомих зір, і весь час змінюють відстань між собою і Юпітером» (Галілео Галілей, 1964).

Так астрономи Римської колегії повністю підтвердили всі відкриття Галілея. Тоді ж, 25 квітня 1611 р., його було обрано членом «Академії деї Лінчеї» («Академії рисьооких»), яку 8 роками раніше заснував молодий князь Чезі, меценат і любитель науки. Ця академія була центром, що об'єднував людей, які усвідомили необхідність розриву з традиціями схоластичної науки і які ставили собі за мету вивчати природу, а не твори Аристотеля. Галілей часто виступав з лекціями і в дискусіях завжди добивався перемоги.

Перед зіткненням. Як виглядає, упродовж близько двох років після відвідин Галілеєм Рима як єзуїти, так і Галілей проявляли велику обережність у висловлюваннях. В інквізиторів не було підстав вважати, що поширення коперниканських поглядів нанесе якусь шкоду церкві. І все ж вони прийняли рішення збирати детальніші відомості про Галілея.

Тим часом ще восени 1610 р. Галілей зауважив на диску Сонця темні плями. І хоча він показував їх деяким своїм друзям, то формального повідомлення про своє відкриття не зробив. Але ж плями на Сонці незабаром були помічені Томасом Гарріотом в Англії, Давидом і Йоганном (батько і син) Фабріціусами в Голландії та Христофом Шейнером у Німеччині. Шейнер – єзуїт, професор астрономії, математики і єврейської мови в Інгольштадті виклав результати своїх спостережень у трьох листах, а в січні 1612 р. опублікував як книжку. На його думку, плями мали б бути невеликими темними небесними тілами, які обертаються навколо Сонця і затемнюють частину його поверхні.

Галілей був дуже незадоволений тим, що його випередили, і в трьох листах до Марка Вельзера, голови великої торгово-промислової фірми, фінансиста, який дуже прихильно ставився до Галілея, висловився проти гіпотези Шейнера і стверджував, що плями належать Сонцю. У квітні 1613 р. ці листи опубліковано окремою книжкою. На її перших сторінках читачі прочитали, що фази Венери підтверджують правильність вчення Коперника: «...вона обертається навколо Сонця, навколо якого, як центра їхнього обертання, рухаються і всі інші планети. Книга була написана італійською мовою, адресована найширшому колу читачів. Це був новий і рішучий крок у справі пропаганди коперниканства.

Однак своєю суперечкою з Шейнером спочатку про природу сонячних плям, а потім про пріоритет Галілей набув у його особі лютого ворога. Це привело до того, що весь орден єзуїтів почав відноситися до Галілея вороже. А тим часом, як згодом відкрито визнавав один з чотирьох астрономів Римської колегії Христофор Грінбергер, «якби Галілей зумів не втратити прихильність отців цієї колегії, то користувався б світською славою, не знав би собі ні турбот, ні хвилювань і міг би писати на будь яку тему, навіть про рух Землі» (Є. і П. Рибка, 1973). Щоправда, тоді кардинал Барберіні (який згодом став папою Урбаном VIII) дякував Галілеєві за надіслану книгу.

Приводом для доносу на Галілея став його лист до Кастеллі, одного з своїх найближчих учнів, який, за рекомендацією Галілея, отримав місце професора математики в Пізанському університеті. Кастеллі описав Галілеєві, як йому на прийомі у великого герцога задавали питання про рух Землі і доводили, що «Святе Письмо очевидним чином протистоїть цій думці». Галілей зрозумів, що питання про рух Землі вже перенесене на богословський ґрунт і що відмовчуватися тут більше не можна. 21 грудня 1613 р. в листі до Кастеллі Галілей пише, що тим самим він має «нагоду звернутися до розгляду загальних питань, пов'язаних зі звертанням до Святого Письма в суперечках природничонаукового змісту..., зокрема я роздумував про те місце книги Ісуса (Навіна – *I. K.*), яке було наведене для заперечення руху Землі...»

Далі читаємо: «...ваше священство мудро погодилися з тим, що Святе Письмо не може вводити в оману або помилятися і що його приписи володіють абсолютною і непорушною істинністю. Я хотів би лише додати, що, хоча не може помилятися Письмо, то помилятися іноді можуть деякі його тлумачі і пояснювачі; помилки ці можуть бути різними, і одна з них є дуже серйозною і дуже поширеною; а саме, помилкою було б, коли б ми захотіли дотримуватися буквального смислу слів...»

...Письмо в багатьох його місцях не лише допускає, але з необхідністю вимагає тлумачення, відмінного від позірного смислу його слів, тому мені здається, що в математичних суперечках його необхідно використовувати в останню чергу.

...Мені думалося б, що Святе Письмо намагається своїм авторитетом утвердити в людях лише ті догмати і положення, які необхідні

для спасіння їхніх душ; а оскільки сила його перевищує силу людського розуму, то змусити повірити в ці догмати не може ніяка інша наука, і тут немає ніякого іншого джерела, крім того, що виходить з уст Святого Письма. Але що Бог, який сам дарував нам відчуття, розсудок і розум, побажав би, відсторонюючи їх, повідомляти нам іншими засобами ті відомості, які ми могли б набути за їхньою допомогою, – цьому, я думаю, ніяк не можна вірити; особливо це стосується тих наук, лише мала частина яких... міститься у Письмі; такою наукою є якраз астрономія, про яку в Письмі сказано так мало, що навіть не перелічено всі планети. Коли б Мойсей мав намір викласти народові закони руху небесних тіл, то він не сказав би про це так мало, майже нічого, порівняно з нескінченною кількістю тих найпрекрасніших і найчудовіших істин, що їх містить ця наука.

...[щодо місця у книзі Ісуса Навіна]... цілком неможливо в системі Аристотеля і Птолемея зупинити Сонце і продовжити день... [і коли Письмо] говорить, що Бог зупинив Сонце, то воно хоче сказати, що Бог зупинив першодвигун... [Але] цілком неможливо, щоб Господь зупинив одне лише Сонце, дозволивши водночас продовжувати рух усім останнім сферам, бо тоді він без будь-якої необхідності змінив би або розладнав увесь світопорядок, розташування усіх зір відносно Сонця та істотно порушив би хід усіх явищ природи... [Отже] необхідно звернутися за допомогою до іншої системи будови частин світу і подивитися, чи погоджується вона з буквальним смислом слів Святого Письма., це насправді і має місце.

Справді, як я виявив і достовірно довів. Сонце обертається навколо себе... Можна покладати: що Сонце, як найвище знаряддя природи, що є як би серцем світу, надає усім планетам не лише світло., але також і рух. Якщо тепер, згідно з вченням Коперника, ми припишемо Землі передовсім добове обертання, то кому не стане ясным, що для того, щоб зупинити всю систему, не порушуючи подальшого взаємного обертання планет, але лише збільшивши тривалість денного освітлення, для цього досить зупинити Сонце, як і голосять слова Святого Письма».

Здавалося б, пропозиція Галілея мала б задовольнити найвимогливіших богословів. Однак, як зауважує М. Я. Вигодський (1934), «вирішальне значення тут мав політичний фактор. Боротьба з протестантизмом, кальвінізмом та різними іншими ересьями

підкоряла собі всі більші і менші питання, що потрапляли в орбіту уваги католицької церкви. Недаремне один із супротивників Галілея домініканець Каччіні недвозначно підкреслив у своїх свідченнях інквізиції, що тлумачення Письма заборонене постановами Латеранського і Тридентського соборів. А прецінь що ж інше пропонував Галілей, як не тлумачення Письма? Його пропозиції йшли врозріз із постановами соборів, а в той час ці постанови були дуже актуальні для католицизму». Суб'єктивно конфлікт між Галілеєм та інквізицією, як визнають історики науки, був боротьбою двох течій всередині церкви. Перемогла реакція. Галілеєві ж нічого не залишалося робити, як заявити, що він готовий підкоритися рішенню церкви, що він швидше виколе собі очі, ніж вступить в суперечність з церковним рішенням.

Вже 25 лютого 1615 р. «конгрегація святої інквізиції» заслухала донос домініканського монаха Нікколо Лоріні, в якому вказувалося, що в листі до Кастеллі Галілей фальшиво трактує смисл Святого Письма. Так розпочався цей ганебний для церкви процес над коперниканством взагалі.

ЗАСУДЖЕННЯ ТЕОРІЇ КОПЕРНИКА. Ще перед формальним закінченням слідства «у справі Галілея» неаполітанський богослов Фоскаріні написав під назвою «Лист кармеліта отця Паоло Антоніо Фоскаріні з приводу думки піфагорійців і Коперника про рух Землі і нерухомість Сонця і нова піфагорійська система світу» (1615), в якому дивним чином для підтвердження правильності теорії Коперника цей богослов наводить такі ж, як і в Галілея, розмірковування. У відповідь на критику його твору Фоскаріні написав своєрідний додаток і переслав його з книгою кардиналові Белларміну, главі інквізиції. У відповіді кардинала звучить присуд ученню Коперника...

Ось його слова: «Я з задоволенням прочитав... [Ваші] лист і рукопис. Я повинен визнати, що вони переповнені кмітливістю і вченістю. Ви запитуєте мене про мою думку...

По-перше, мені здається, що ваше священство і пан Галілей мудро чинять, задовольняючись тим, що розмірковують припущенням, а не абсолютно; я завжди вважав, що так казав і Коперник. Тому що, якщо сказати, що припущення про рух Землі і нерухомість Сонця дозволяє зобразити всі явища краще, ніж прийняття ексцентриків та епіциклів, то це буде сказано красно і не тягне за собою ніякої

небезпеки. Для математика цього цілком досить. Але бажати стверджувати, що Сонце насправді є центром світу і обертається лише навколо себе, не пересуваючись зі сходу на захід, що Земля стоїть на третьому небі і з величезною швидкістю обертається навколо Сонця, – стверджувати це дуже небезпечно, не лише тому, що це значить стривожити усіх філософів і теологів-схоластів; це значило б нанести шкоду святій вірі, представляючи положення Святого Письма фальшивими. Хоча ваше священство прекрасно показали багато способів викладати Святе Письмо, але ви не застосували цих способів до окремих питань і, без сумніву, ви зустрілися б з величезними труднощами...

По-друге, як ви знаєте, собор заборонив тлумачити Святе Письмо врозріз із загальною думкою святих отців...

Якщо б навіть і існував істинний доказ того, що Сонце перебуває в центрі світу, а Земля на третьому небі і що Сонце не обертається навколо Землі, але Земля обертається навколо Сонця, то і тоді необхідно було б з більшою обережністю підходити до тлумачення тих місць Письма, які здаються цьому суперечними, і краще буде сказати, що ми не розуміємо Письма, ніж сказати, що те, що мовиться в ньому, фальшиве. Але я ніколи не повірю, щоб такий доказ був можливий, до тих пір, доки мені справді його не дадуть; одна справа показати, що уявлення, за яким Сонце в центрі, а Земля на небі, дозволяє добре зобразити спостережувані явища; зовсім інша справа довести, що насправді Сонце знаходиться в центрі, а Земля на небі, бо перший доказ, я думаю, можна дати, а другий – я дуже сумніваюся.

...ясний досвід показує, що Земля нерухома і що око не обманюється, коли говорить нам, що Сонце рухається, так же як не обманюється воно, коли свідчить, що Місяць і зорі рухаються. Цього поки що достатньо».

Загалом, як зауважив М. Я. Вигодський, нехтуючи «мудримі порадами католицького астронома [Галілея], віддали перевагу букві тридентських постанов...» Почавши в січні 1616 р. слідство у справі Галілея, інквізиція вже наприкінці лютого визнала «еретичними» два місця у працях Галілея і заявила: «Твердження про те, що Сонце є в центрі світобудови і нерухоме, є безглуздом, фальшивим з філософської точки зору і еретичним за формою, бо суперечить Святому

Письму... Твердження про те, що Земля не є центром світу і не стоїть на місці, а здійснює за добу один оберт, також безглузде... і що більше суперечить вірі».

Зразу ж 5 березня 1616 р. «священна конгрегація» затвердила «Декрет святої конгрегації преосвященніших панів кардиналів, спеціально призначених святійшим паном нашим папою Павлом V і святим апостольським престолом, для складання покажчика книг, які підлягають дозволу, забороні, знищенню і друкуванню у вселенській християнській державі». У ньому, зокрема, було сказано: «А оскільки до відома вищеназваної конгрегації дійшло, що хибне і цілком суперечне Святому Письму піфагорійське вчення про рух Землі і нерухомість Сонця, якого вчить Микола Коперник у книзі про обертання небесних кіл і Дідак Астуніка в коментарях на книгу Іова, вже широко розповсюджується і багатьма приймається..., то щоб така думка не поширювалася потроху на згубу католицької істини, конгрегація ухвалила: названі книги Миколи Коперника «Про обертання кіл» і Дідака Астуніка «Коментарі на Іова» мають бути тимчасово затримані аж до їх виправлення. Книга ж отця Паоло Антонія Фоскаріні, кармеліта, зовсім забороняється і засуджується. Усі книги, які так само навчають того ж, забороняються, і цей декрет відповідно забороняє та засуджує їх або тимчасово затримує».

Згодом, в середині травня 1620 р., було оголошено детальний список змін і поправок, які належало внести, зокрема, в книгу Коперника, а також «Пересторогу святої конгрегації читачам Миколи Коперника...»: «Свята конгрегація індекса постановила, що твір відомого астролога Миколи Коперника «Про обертання сфер» має бути повністю засудженим, бо він викладає погляди на положення і рух земної кулі, які суперечать Святому Письму і його істинному католицькому тлумаченню, не як гіпотетичні (що також нетерпиме у християнині), а насмілюється видавати їх за такі, що найбільше відповідають істині. Однак оскільки названий твір містить багато корисних для загального відома речей, конгрегація одноголосно прийняла рішення про те, що видані до цього дня книги Коперника можуть бути дозволені..., якщо в них будуть внесені виправлення згідно зі зразком, що додається... Друкувати книгу Коперника надалі дозволяється лише після внесення вказаних нижче виправлень і з цим «Нагадуванням», яке вміщувати перед передмовою Коперника...»

Виправлення книги Коперника мали бути такі: слід було усунути 10 рядків з посвяти Павлові III, де мовиться, що Коперник не вважає, нібито його вчення суперечить Письму. Крім того, в декількох місцях, де Коперник назвав Землю зорею, слово «зоря» мало бути усунене.

КОПЕРНИКА ВИПРАВЛЯЛИ НЕ СКРИЗЬ! Усі описані вище події, особливо пізніший (1633 р.) процес над Галілеєм мали драматичні наслідки. Вони дещо загальмували розвиток наукових досліджень і стали певним аргументом для сформованої згодом тези «наука несумісна з релігією».

Але як сприймалися в інших регіонах Європи події, що розгорталися в Італії, в центрі католицизму? Здається, не так вже й однозначно.

Свідчить про це відсоток виправлених книг Коперника. А їх до наших часів збереглося понад 500. Отже, виявилось, що виправлення, які були рекомендовані «Конгрегацією» 1520 р., внесені лише в одному з 12 випадків, причому в основному це зроблене в Італії (виправлено тексти у двох з кожних трьох книг). Варте уваги, що в Іспанії та Португалії, де інквізиція була особливо суворою, не знайдено жодного екземпляра книги Коперника з виправленнями. Вона не згадана у виданому тут «Індексі заборонених книг», немає виправлень і в екземплярі, що належав укладачеві цього «Індекса». Що більше, у ньому конкретно говорилося, що книга Коперника цілком прийнятна. То ж, як вважає історик науки О. Дж. Гіндерідж (США), іспанці, очевидно, вирішили, що заперечення проти Коперника (та Галілея) – це місцева італійська сварка, яка не має до них жодного відношення.

Очевидно, не було таємницею те, що частина кардиналів, зокрема Орсіні, сміливо захищали перед папою і Галілея, і все коперниканство в цілому. Так, представник герцога тосканського Гвіччардіні писав у своєму звіті: «Папа сказав йому (тобто кардиналові Орсіні – *I. K.*), що було б добре, якби він переконав Галілея залишити цю думку. Орсіні щось заперечив, настоюючи на своєму, але папа припинив бесіду і сказав йому, що він вже передав справу кардиналам святого судилища. Коли Орсіні вийшов, його святість наказав покликати до себе Белларміна, і після розмови про цю подію вони вирішили, що ця думка Галілея помилкова та еретична...»

Бо ж «наш владика відчуває огиду до науки і її людей і не може чути про нові і тонкі наукові предмети. І кожен намагається пристосувати свої думки і свій характер до думок і характеру свого пана...»

§ 3. Між двома процесами

Варте уваги, що вже після прийняття згаданого рішення щодо заборони «вчення піфагорійців про рух Землі» Галілей «дуже милостиво» та «в дуже урочистій обстановці» був прийнятий папою римським. Папа, зокрема, тоді сказав, що йому відоме благочестя і чистосердечність Галілея, який може жити спокійно, бо користується таким авторитетом в очах папи і всієї конгрегації, що вони не звернуть увагу на наклепників. «Доки я живу, – сказав папа Павло V, – доти Галілеєві не загрожує ніяка небезпека».

Що більше, на прохання Галілея кардинал Беллармін написав йому таке свідоцтво: «Ми, Роберт, кардинал Беллармін, почувши, що сеньйор Галілео Галілей зазнав наклепу і звинувачення в тому, що він приніс нам клятвене зречення, а також що на нього було накладено спасальне церковне покаяння, і намагаючись встановити істину, заявляємо, що вищеназваний сеньйор Галілей ні перед нами, ні перед ким-небудь іншим тут у Римі, ні також, наскільки ми знаємо, в іншому місці, не відрікався від якої б то не було своєї думки або вчення і на нього не було накладено ні спасальне каяття, ні кара іншого роду; йому лише було оголошено зроблену паном нашим і опубліковану святою конгрегацією індакса постанову, в якій сказано, що вчення, яке приписується Коперникові, що Земля рухається навколо Сонця, Сонце ж стоїть у центрі світу, не рухаючись зі сходу на захід, суперечить Святому Письму, і тому його не можна ні захищати, ні дотримуватися. На посвідчення цього ми написали і підписали це нашою власною рукою цього 26 травня 1616 р. Вищеназваний Роберт кардинал Беллармін».

«Послання до Інголі». У той час, коли відбувалися описані вище події, у 1616 р., богослов, знавець східних мов Франческо Інголі вирішив внести і «свою лепту» у «виправлення думок Галілея» і написав твір «Про місце Землі та її нерухомість всупереч системі Коперника. Роздуми для найученішого математика Галілео Галілея з Флоренції...» Галілей довго не відповідав на нього. Але після того, як 1624 р. йому не вдалося добитися в папи Урбана VIII зняття заборони з вчення Коперника, він і написав своє «Послання». Воно дуже швидко поширилося в копіях, і навіть потрапило до папи, надруковане ж було вперше 1814 р. Як ми зараз переконаємось,

«Послання до Інголі» було сміливим і сильним виступом Галілея на захист системи світу Коперника.

Галілей пише, що він зберігав мовчанку вісім років, оскільки йому здавалося, «що цим способом мені не довелося б вносити почуття гіркоти у ті настрої, які (як я хочу думати) ви повинні були переживати, коли були переконані, що повалили таку людину, як Коперник; а разом з тим я залишав незаторкнутою – наскільки це залежало від мене – ту думку, яку склали про вас особи, що прочитали ваш твір». Однак його тривалу мовчанку зрозуміли неправильно і «склалося тверде й загальне переконання, буцімто я змовчав тоді, наче переконаний силою ваших доказів, причому деякі вважають ці докази і необхідними, і неспростовними».

Передовсім Галілей намагається відвернути від себе звинувачення в ересі: «...Я зовсім не приступаю до цієї праці з метою підтримувати або утверджувати істинність вчення, яке вже визнано підозрілим і не відповідним тій доктрині, що за своєю величчю та авторитетом перевищує авторитет природничих і астрономічних наук; але... з метою здолання єретиків, з яких, як я чую, всі, хто має голосні імена, притримуються вчення Коперника, я сподіваюся увійти в ці питання детально і показати їм, що коли ми, католики, залишаємося на давніх точках зору, засвоєних нами з творів святих отців, то це зовсім не через недостачу розуміння, даного нам природою, і не тому, що від нас вислизають ті докази, досліди, спостереження і доведення, які були враховані ними, а внаслідок того шанування, яке ми зберігаємо відносно творів отців нашої церкви та з ревності до питань нашої релігії та нашої віри; так що, коли вони побачать, що всі їхні астрономічні та природничі докази нами прекрасно засвоєні і, що більше, що ми володіємо доказами, значно сильнішими, ніж усе, що було висунуте до цих пір, то вони принаймні можуть вважати нас людьми, впертими у наших переконаннях, але зовсім не сліпими або безграмотними в людських науках». Далі йде: «Я переконаний, що Микола Коперник присвятив цим найважчим дослідженням більше число років свого життя, ніж ви віддали на них днів, – я повинен, повторюю, дати вам найповніші пояснення і не залишити у вас легковажного переконання в можливості повалити в прах таку людину...»

Галілей пише Інголі: «...Ви припускаєте, що всі зорі небосхилу поміщені на одну і ту саму сферу; але це настільки сумнівне

твердження, що ні ви, ні будь-хто інший не зможе довести цього ніколи; що ж стосується мене, то я, залишаючись у царині допустимого та правдоподібного, скажу, що навіть з чотирьох нерухомих зір, не кажучи вже про всі, не знайдеться і двох однаково віддалених від будь-якої точки, яку ви побажаєте обрати у всесвіті...».

Далі йде дуже глибоке за своїм змістом твердження: «Нерухомі зорі світяться їхнім власним світлом..., так що ніщо не заважає нам називати і вважати їх сонцями, ...однак усе світле, що виходить від них у сукупності, та їхня видима зоряна величина, – я кажу це навіть відносно усіх зір разом узятих, – не досягають і десятої частини видимої величини Сонця і того світла, яке воно нам дає; але причиною цього та іншого явища є лише їх відстань». І тут Галілей доводить можливість цього: «...Припустимо, що земна орбіта виявляється невідчутно малою відносно зоряної сфери; і щоб їй бути такою, необхідно, щоб нерухомі зорі були віддалені в 16 500 000 півдіаметрів Землі: що бачите ви в цьому неможливого чи непридатного, сеньйор Інголі? Мені здається, що вся невідповідність коріниться у людській уяві, але зовсім не в самій природі... І хіба вам не відомо, що дотепер ще не вирішено (і я думаю, що людська наука ніколи не вирішить), скінченний всесвіт чи нескінченний? Але якщо допустити, що він справді нескінченний, то як можете ви твердити, що розміри зоряної сфери непропорційні порівняно із земною орбітою, якщо сама ця сфера відносно всесвіту виявилася б значно меншою, ніж пшеничне зерно порівняно з нею?»

Відкидаючи тезу Аристотеля, нібито в твердих тіл є природне устремління – рухатися до центра всього сферичного світу, Галілей пише: «...я стверджую, що Місяць, Сонце і всі інші кулеподібні світила у всесвіті є не менш важкими, ніж Земля, і що всі їхні частини сприяють утворенню їх власних сфер; так що, якщо коли-небудь від них відділяється частина, то вона повертається до свого цілого, точно так же, як це стається з частинами Землі...; на небосхилі... є тисячі центрів, оскільки кожна зоря є точною сферою, а в кожній сфері є центр...»

Пояснюється також, чому, на противагу думці Аристотеля, при обертанні Землі навколо своєї осі камінь, що падає з високої башти, не вдаряється об Землю на захід від неї, а також відкидається як не відповідний дослідів приклад, нібито на рухомому кораблі камінь, кинутий з вершини щогли, «відстає на багато ліктів від підніжжя

щогли в напрямку до корми»: «...якщо я разом з Коперником скажу, що Земля обертається і, отже, несе разом з собою вежу, а також і нас, хто спостерігає за явищем падіння каменя, то виявиться, що рух каменя складений; він складається з всезагального добового колового руху, спрямованого до сходу, та з другого, випадкового, спрямованого до цілого [частиною якого він є], так що складовий рух виявляється спрямованим по похилій до сходу; з цих рухів той, що є спільним для мене, для каменя і для башти, для мене у цьому випадку є невідчутним, як би його зовсім не було, так що залишається спостережуваним лише другий, якого позбавлений і я, і башта, саме наближення до землі...» (Галілей тоді ще не знав, що насправді камінь повинен відхилитися на південний схід завдяки збереженню моменту кількості руху, але і в такому вигляді його аргументи вибивали ґрунт з під ніг аристотелівців).

І, нарешті: «...я хочу навести вам деяке зіставлення, яким я вже і раніше користувався для людей інших професій..., аби пояснити їм, що набагато правдоподібніше вважати, що Сонце, а не Земля, є нерухомим і розташоване в центрі небесних обертань. Тому я говорив їм так: нам дано вісім небесних тіл: Земля і сім планет; з цих восьми сім рухаються безумовно і безперечно, і може існувати одне, і не більше ніж одне, яке перебуває у спокої; і цим єдиним за необхідністю може бути Земля або Сонце. І... якби за допомогою якогось сміливого зіставлення ми дійшли б до переконання, яке з них, Земля чи Сонце, більше відповідає за своєю природою останнім шести, то цьому тілу ми цілком зможемо розумним чином приписати рух. Але природа її люб'язністю розкриває перед нами двері до такого пізнання, виявляючи два явища, не менш важливі і первинні, спокій і рух; такими є світло і темрява; бо самим необхідним чином належить бути різними за своєю природою тілу, що сяє вічним світлом, і тілу, яке зовсім темне і не має яскравості; але відносно шести тіл, які безсумнівно рухаються, ми переконані, що вони, за своєю природою, цілком позбавлені світла; і таким же крім них, що безсумнівне для нас, є і Земля. Отже, дуже великою є та подібність, що існує між Землею та шістьма планетами, і ми можемо рішуче твердити, що також наявна не менш значна відмінність між цими планетами і Сонцем. Далі, якщо Земля за своєю природою чималою мірою подібна до тіл рухомих, а першосутність Сонця від неї так істотно відмінна,

то як же не буде для нас значно імовірнішим (якби ми навіть не виявляли цього іншим чином), що не Сонце, а Земля, разом зі своїми іншими шістьма родичами, рухається? Додам до цього й інше, не менш важливе зіставлення: у системі Коперника всі зорі, які, як і Сонце, є тілами самосвітними, перебувають у вічному спокої... саме так і повинна б діяти природа, дуже послідовна у своїх проявах».

Як зазначає Галілей, такі міркування він висловлював у своїх популярних лекціях. Неважко уявити, що вони справляли на слухачів глибоке враження своєю логічністю і змушували їх задумуватися над питанням, яке ж насправді місце Землі у світобудові. Можна також подивуватися тому, як Галілей, «прикрившись» декількома фразами про свою відданість «вченню святих отців» і «шанування їх творів», не побоявся далі висловлювати докази правильності теорії Коперника у такій рішучій формі...

«ДІАЛОГ ПРО ДВІ СИСТЕМИ СВІТУ». Ще в «Зоряному віснику» Галілей обіцяв, що про світло Місяця «детальніше поговоримо у книжці «Про систему світу», в якій він мав намір «шістьмастами доказами і натурфілософськими розмірковуваннями» підтвердити, що Земля «рухається і своїм світлом перевищує Місяць». Праця над книгою тривала майже двадцять років, і в останні роки друзі Галілея і навіть секретар папи Чамполі підганяли його закінчити книгу якомога скоріше. Нарешті, в одному із своїх листів 24 грудня 1629 р. Галілей повідомляє: «Я довів майже до пристані мій «Діалог» і розкрив дуже наглядно багато з того, що мені здавалося майже непоясненим». Після цього почалися турботи з отриманням дозволу на публікацію. Проглянувши рукопис, папський цензор повідомив Галілеєві в записці, що «книга йому подобається і що завтра він буде говорити з папою про титульну сторінку.» Цензор, однак поставив вимогу, щоб у передмові і заключній частині книги було чітко вказано про гіпотетичність вчення Коперника і щоб була розвинута теза про всемогутність Бога. Крім дозволу папського цензора, Галілей отримав ще дозвіл флорентійського інквізитора, генерального вікарія, герцогського цензора, а згодом і папи. Книга вийшла в лютому 1632 р. під назвою: «Діалог Галілео Галілея, академіка Лінчеї, екстраординарного математика університету в Пізі, філософа і старшого математика Його Світлості Великого Герцога Тосканського, де в зібраннях, що тривають чотири дні, ведуться розмірковування про дві

найвидатніші системи світу, Птолемею та Коперникову, причому неозначено пропонуються докази стільки для одної з них, скільки і для другої». Книга була написана на розмовному італійському діалекті, як пояснював Галілей, «щоб кожна людина могла прочитати мою працю».

З «Діалогах» три співрозмовники протягом чотирьох днів ведуть спокійну бесіду. Один з них – Сальвіаті – коперниканець, другий, Сімплічіо (по-італійськи «простофіля»), – аристотелівець, третій, Сагредо, – наче нейтральний, але все швидко засвоює і навіть іноді доповнює Сальвіаті, який викладає точку зору Галілея (співрозмовники згадують його під іменем «Академік» або «Наш спільний друг»). Першого дня йде обговорення природи небесних тіл, другого – добового руху Землі, третього – її річного руху і четвертого – теорії припливів та відпливів як одного з доказів, на думку Галілея, руху Землі навколо Сонця. В обговоренні вжито факти й аргументи, вже викладені раніше Галілеєм у «Зоряному віснику», «Листі про сонячні плями», «Послання до Інголі» і ін.

Розглядаючи питання про добовий рух Землі та її рух навколо Сонця, Галілей використовує власні спостереження за рухом куль на похилих площинах і встановлений ним закон інерції, а також досліди з маятниками. Орбіти небесних тіл Галілей вважає строго коловими, ігноруючи закони Кеплера (а найпевніше, – свідомо замовчуючи праці «єретика»-протестанта).

Отже, всупереч Аристотелю і Птолемею, не може бути ніякого зміщення предметів на захід, бо «добовий рух звершується завдяки рухові від природи, притаманному земній кулі, а отже, і всім її частинам, це, так би мовити, печать природи, яка з них не стирається, і тому камінь, що перебуває на вершині башти, має від природи властиву спонуку рухатися навколо центра свого цілого за двадцять чотири години, і цю природну властивість він проявляє одвічно...» Тут же ми зустрічаємо ті ж докази, що Земля є рядовою планетою, як і в «Послання до Інголі» (про світло і темряву). Привертає увагу висловлювання Сальвіаті (тобто самого Галілея), що «в науках про природу, висновки яких є істинними і необхідними і де людське свавілля ні до чого, слід остерігатися, щоб не стати на захист фальшивого, оскільки тисячі Демосфенів і тисячі Аристотелів будуть вибиті з сідла будь-яким посереднім розумом, якому пощасливиться відкрити істину».

В розмовах третього дня доводиться передовсім, що відстань до нової зорі, спалах якої було зауважено 1572 р., перевищує відстань від Землі до Місяця, тобто що це явище відбулося за межами земної атмосфери. А це, всупереч Аристотелю, засвідчує, що небесні світила не є вічними та незмінними. Тут же Галілей дає чудовий виклад геліоцентричної системи світу за Коперником, підтверджуючи її власними спостереженнями фаз Венери і супутників Юпітера. А після обговорення можливостей, що їх надають телескопи, Сагредо вигукнув: «О, Миколо Копернику, як приємно було б тобі бачити підтвердження твоєї системи так яким дослідом!» І тут Сальвіаті підводить підсумок: «У Птолемея ми знаходимо хвороби, а в Коперника – ліки від них».

Співрозмовники також обговорюють тезу, чи може Земля рухатися, якщо астрономи не змогли зауважити видимих змін у річному положенні зір. В багатьох опонентів Коперника склалося враження, що за його вченням розміри далеких зір мали б перевищувати розміри земної орбіти. Устами Сальвіаті Галілей каже так: «Щоб довести все безглуздя цього міркування, я покажу, як у припущенні, що нерухома зоря шостої величини не більша за Сонце, можна довести цілком правдивими методами, що відстань від цієї нерухомої зорі до нас буде достатньо велика, аби зробити стосовно до неї непомітним річний рух Землі...» Міркування Галілея зводяться ось до чого: Сонце, відстань до якого він, услід за Коперником, приймав рівною 1208 земним радіусам, має видимий діаметр 30'. За його оцінками, видимий діаметр зорі першої величини не перевищує 5' (всупереч Тіхо Браге, який вважав цей діаметр рівним 2' навіть 3'), а для зорі шостої величини він у шість разів менший. Звідси й випливає, що за однакових діаметрів Сонця і зір відстань до зорі першої величини мала б бути у 360 разів більша відстані від Землі до Сонця, а до зорі шостої величини вона ще в шість разів більша. У цьому випадку їхнє річне зміщення і справді не можна виявити (радіус самого Сонця Галілей приймав за $5,5R_{\oplus}$).

Насправді, як ми це знаємо сьогодні, відстані до найближчих зір (які до того ж не обов'язково виглядають найяскравішими) не в 360, а в 360 000 разів перевищують відстань від Землі до Сонця. Проте і в такому вигляді аргументи Галілея були достатніми. Зрештою, далі на тій підставі, що «за вченням Птолемея обертання зоряної сфери

завершується за 36 000 років, тоді як обертання Сатурна – за 30, а Сонця – за рік», Сальвіаті знаходить, що «відстань до зоряної сфери має становити 10 800 півдіаметрів земної орбіти, а це приблизно в 5 разів більше» отриманого раніше.

«Під вечір» третього дня з'ясовують, що «Земля при річному русі свого центра переноситься в інші... місця, але підлягає при цьому такому закону: її власна вісь не лише не змінює нахилу до площини екліптики, але ніколи не змінює і напряму, так що, залишаючись завжди паралельною сама собі, вона завжди звернена до одних і тих же місць всесвіту або, можемо сказати, небосхилу». Тим самим Галілей усунув необхідність допущеного Коперником третього «деклінаційного» річного руху Землі.

У четвертій частині книги Галілей виклав свою теорію припливів та відпливів, пояснюючи їх як результат складання добового обертання Землі з її рухом навколо Сонця: в одному випадку нібито «добовий рух збільшує і пришвидшує рух річний», а через 12 годин «добовий рух віднімається від річного». А оскільки, мовляв, доведено на досліді, що «прискорення і сповільнення руху посудини змушують наявну в ній воду рухатися уздовж неї взад і вперед та підійматися й опускатися при її краях, то чому б не допустити, що таке явище може і навіть з необхідністю повинно відбуватися і з морськими водами...» Сімпліціо, щоправда, заперечує: мовляв, «якийсь прелат опублікував трактат, в якому каже, що Місяць, мандруючи небом, притягує і підіймає до себе водяний горб, який іде, неперервно за ним слідуючи...» Але тут його зупиняє Сагредо: «Не варто тратити час і працю на виклад таких міркувань, а тим більше на їхнє заперечення. Якби ви погодилися з одним із таких легковажних пояснень, то це не зробило б честі вашому глузду...» Сальвіаті ж додає: «Доводиться визнати існування поетично обдарованих натур двох видів: одні спроможні і здатні придумувати байки, інші схильні і сприйнятливі їм вірити».

Справа в тому, що 1624 р. архієпископ Марк Антоніо де-Домініста опублікував книгу, в якій якраз виклав згадану теорію припливів та відпливів. За цією теорією, «Місяць, мандруючи небом, притягує і підіймає до себе водяний горб, який іде неперервно за ним услід так, що море завжди високе у тій частині, яка розміщена під Місяцем... крім того, Місяць не лише сам за природою своєю

має цю здатність, а й може переносити її... на протилежний знак Зодіаку». Як ми знаємо, саме ця теорія і була правильною. І Галілей міг у цьому переконатися, зіставляючи час настання припливу з положенням Місяця та з його запізненням на кожен наступну добу на 52 хв, що обумовлене рухом Місяця. Але Галілей категорично відкидав дуже поширені в той час астрологічні погляди про впливи небесних світил на людей. І помилився. А до того ж набув собі могутніх ворогів. До речі, спочатку він назвав свою книгу «Діалог про припливи і відпливи», але, посилаючись на папу, цензор Н. Ріккарді порадив змінити назву.

Далі все відбулося так, як це передбачив 1615 р. Галілей в одному приватному листі: «Ми проповідуємо нове вчення не для того, щоб посіяти смуту в умах, а для того, щоб їх укріпити... Наші ж вороги... роблять собі щит з лицемірних релігійних поривів і знищують Святе Письмо, користуючись ним як знаряддям для досягнення своїх особистих цілей».

Через півроку після виходу «Діалогів» у світ цю книгу було заборонено продавати, невдовзі її було внесено в «індекс» заборонених книг. Галілея було викликано в Рим, куди він і прибув у січні 1633 р., слухання ж справи розпочалося 12 квітня.

§ 4. «Вона таки рухається!»

«*Eppur si muove!*» – «Вона все-таки рухається!» – це слова, що їх нібито прошептав старий і хворий 69-річний Галілей після того як 22 червня 1633 р. в домініканському монастирі «святої Марії над Мінервою» на колінах, в покаяній одежі і з мотузкою на шиї прочитав приготовлений для нього текст публічного зречення, який згодом зачитували в церквах та університетах. Він «зрікався», «проклинав», «засуджував» погляди на те, що «Сонце міститься в центрі світобудови і стоїть нерухомо, а Земля не перебуває у центрі світобудови і рухається», зрікався після того, як подав незаперечні докази їхньої правильності.

Слова зречення. У тексті прочитаного Галілеєм зречення були такі слова: «Я, Галілей, син Вінченцо Галілея з Флоренції, 70 років від народження, особисто ставши перед трибуналом, на колінах і в покаяній одежі, перед особами найдостойніших і преподобніших панів кардиналів, великого інквізитора і всього християнського

світу, засуджуючи злочинні ересі і маючи перед своїми очима святе євангеліє, ...клянусь, що завжди вірив, вірую сьогодні і з Божою допомогою буду вірувати надалі у все, чого дотримується, що проповідує і чому вчить свята католицька й апостольська церква.

...Я написав і опублікував друком книгу, в якій розглянув вже заборонене тоді вчення і на підтвердження його навів дуже переконливі аргументи без якого б то не було дозволу. Коли про це стало відомо, мене сильно запідозрили в ересі, а саме в тому, що я твердив і вірив, нібито нерухоме Сонце перебуває у спокої в центрі світобудови, а Земля не стоїть у центрі світобудови і перебуває в русі.

Від душі бажаючи вимести з умів ваших преподобій і кожного істинного християнина те сильне підозріння, яке мною цілком заслужене, я з чистим серцем та щирою вірою відрікаюся, проклинаю і засуджую перелічені вище помилки та ересі... Клянусь, що надалі не буду ніде проповідувати або утверджувати ні словом, ні в своїх творах такі речі, які могли б породити проти мене таку підозру...

Я, вищеназваний Галілео Галілей, відрікаюся, клянусь, обіцяю і зобов'язуюся виконати все сказане мною... 22 червня 1633 р.»

Як до цього дійшло? «У списках літератури, присвяченої Галілею, – принаймні 2500 назв. Одне з питань, яке намагаються збагнути, – як сталося, що папа Урбан VIII з щирого друга і шанувальника праць Галілея міг стати його ворогом.

Пояснень цьому є декілька. Одне – що Галілей образив папу. Одного разу в розмові з ним (при свідках) папа Урбан VIII зауважив, що «Бог може досягати своїх цілей нескінченною кількістю шляхів, тому... не слід позбавляти Бога вибору» (в розумінні: Могутній Творець міг влаштувати світ так, щоб світила оберталися навколо Землі, але і так, щоб Земля рухалася навколо Сонця). Папа вимагав від Галілея не робити конкретних висновків в питанні істинності системи Коперника. Галілей так і закінчив «Діалоги», але... слова папи вклав в уста Сімплічіо – «простофілі» (дурника). Папа сприйняв це як насмішку...

Друге. Під час першого процесу було складено два акти (протоколи) – 25 і 26 лютого 1616 р. Документ від 25 лютого свідчить, що папа доручив кардиналові Белларміні вмовити Галілея залишити думку про рух Землі. «...А якщо він відмовиться підкоритися, то отець комісар, при нотаріусі і свідках повинен повідомити йому припис, щоб він повністю утримався від того, щоб такого роду

вчення і думки викладати або захищати, або про нього трактувати; коли ж не погодиться, то ув'язнити його». В документі від 26 лютого сказано: «У постійній резиденції... кардинала Белларміна... цей..., коли згаданий Галілей був закликаний... в присутності генерального комісара святого судилища..., вмовляв... Галілея в помилковості вищезгаданої думки... Услід за цим... отець комісар... Галілею предписав і повелів..., щоб він вищезгадану думку, що Сонце центр світу... цілком залишив і надалі ніяким чином її не дотримувався, не викладав і не захищав ні усно, ні письмово; у протилежному випадку проти нього буде розпочата справа у святому судилищі. З цим приписом цей Галілей погодився і обіцяв коритися». Далі перелічені свідки.

Так ось, цей другий документ суперечливий. Бо Беллармін повинен був переконувати Галілея, а все подальше мало визначитися тим, кориться Галілей чи ні. Про це немає ні слова. Далі, інквізиційний трибунал зібрано в помешканні кардинала (хоча і голови). У справі немає протоколу допиту Галілея... Сам цей другий документ ніким не підписаний. Найімовірніше, беручи до уваги значне число прихильників Галілея навіть серед кардиналів, покровительство з боку герцога Тосканського та й саму мягкість Галілея, Беллармін «влаштував» ознайомлення Галілею з тим, що його може чекати в майбутньому, але водночас не надав цьому документу законності, і Галілей про нього не знав. В. С. Кирсанов (1987) вважає, що папа Урбан VIII і розлютився тому, що Галілей нібито приховав від нього те, що йому було наказано «ніколи в майбутньому не обговорювати вчення Коперника, ні письмово, ні усно». І коли Галілей став перед судом інквізиції, його було звинувачено в порушенні саме цього припису. Побачивши цей другий протокол, Галілей був вражений – «його життя раптом виявилось підвішеним на волоску». Але й інквізитори не підозрівали, що в Галілея є наведений вище лист Белларміна. Закрити справу вони вже не могли, але почали розглядати Галілея не як «заклятого еретика», а як «грішника, що підлягає виправленню». Це гарантувало Галілеєві збереження життя. Після принизливого каяття, як вже було тут сказано.

Ще одна версія. Ідеться про філософські ідеї, що їх після смерті Джордано Бруно поширювали «неорганізовані групи інтелігентів» – розенкрейцери. Тоді то, 1599 р., колишній домініканський монах Томазо Кампанелла (1568–1639) підняв у Південній Італії повстання

проти Габсбургів. А коли його посадили в тюрму, написав там багато трудів на захист герметизму, ідей Коперника, а 1516 р. і на захист Галілея, причому водночас згадав Джордано Бруно. То ж Галілея було запідозрено в тому, що в «Діалогах» він, як і Бруно у «Бенкеті на попелі» пропагує ідеї герметизму. Виявляється, шокуючою для багатьох була емблема – три дельфіни в крузі, – розміщена на титульній сторінці «Діалогів». Згаданий вже особистий богослов папи (і цензор) Ніколло Ріккарді писав одному з прихильників Галілея, що «емблема, вміщена на обкладинці, була сприйнята як найжорстокіша образа». У ній вбачали таємний смисл, «ключ» до цілої книги.

Були й чисто «земні» мотиви. Про це В. В. Лункевич (1962) написав так: «Італія в цю епоху була і економічно, і політично слабка. На міжнародній арені перші місця займали Франція та Іспанія з Німеччиною. Італійським властям, і світським, і духовним, доводилося опиратися на одну з цих ворогуючих між собою сторін... В Італії боролися дві партії: французька та іспано-німецька; домініканці стояли за Іспанію, єзуїти – за Францію... Прихильники іспано-німецької партії з домініканцями на чолі дуте хотіли зганьбити небажаного папу Урбана VIII... Почалася закулісна, провокаційна гра. Прибічникам іспанської партії... вдалося отримати дозвіл на друкування книги Галілея... Скандал виявився дуже великий: на книжці стояв напис, що «Діалог» надрукований з дозволу папської цензури.

Вороги торжествували: папа на весь католицький світ був оголошений захисником ересі та покровителем богохульника. Треба було спасати положення. І – Галілея було викликано до Рима.

«Діалоги» були виключені в «індексу» заборонених книг лише 1835 р. У листопаді 1979 р. папа римський Іван Павло II визнав, що великий учений постраждав від церкви несправедливо. У Ватикані було створено спеціальну комісію, яка переглянула «справу Галілея» і 1984 р. виправдала вченого.

Останні праці. Перебуваючи під суворим домашнім арештом аж до своєї смерті 1642 р., Галілей продовжував працювати над важливими проблемами фізики. Тимчасом 1635 р. «Діалоги» були перевидані в Страсбурзі латинською мовою «без відома автора», у тому ж році вийшов англійський переклад цієї фундаментальної книги. І якими короткозорими виявилися його судді. Бо ж, як сказав сам Галілей, «відносно тих чи інших положень ніхто, природно, не

сумнівається, що Його святість папа має повне право допускати або осуджувати їх; але ні одна істота в світі не може зробити їх істинними або помилковими, тобто інакшими від того, якою є їхня природа». За півроку до смерті він написав одному з високопоставлених чиновників Флоренції, який висловлював сумнів щодо істинності теорії Коперника: «Фальшивість системи Коперника поза підозрою після того, як це оголошено вищим авторитетом церкви. Всі аргументи Коперника і його послідовників відкидаються аргументом про всемогутність Бога, для якого все можливе, навіть те, що виглядає безглуздим. Але система Аристотеля і Птолемея ще помилковіша, бо для їх заперечення немає потреби звертатися до авторитету церкви і до всемогутності Бога, а досить простого людського розуму...»

У 1637 р. Галілей відкрив *лібрацію* Місяця – його «погойдування» в процесі руху навколо Землі. Наприкінці цього ж року він осліп. У листі до одного зі своїх друзів, якого він продиктував, є такі слова: «Можете уявити собі, яка скорбота охоплює мене, коли я усвідомлюю, що те небо, ті простори і той Всесвіт, які я за допомогою моїх найдивніших спостережень і ясних розмірковувань збільшив у сто і в тисячу разів порівняно з усім баченим вченими попередніх століть, сьогодні настільки звузилися і зменшилися для мене, що не проникають навіть у ту скромну ділянку простору, який займає моя особа...»

Зразу після суду над ним, 1633 р. Галілей розпочав роботу над новою книгою і практично через рік її закінчив. І ось 1638 р. в Лейдені вийшли «Бесіди та математичні докази, що стосуються двох нових наук, які належать до механіки і місцевого руху... з додатком про центри тяжіння різних тіл». Будова книги багато де в чому нагадує «Діалог», вона написана у формі вільної дискусії між Сальвіаті, Сагредо і Сімпліціо. Як висловився один із дослідників творчості Галілея, «Бесіди» – книга не менше коперниканська, ніж «Діалог». Теологи не осудили її, тому що вони її не зрозуміли». Дві нові науки, про які сказано у назві, – це опір матеріалів і кінематика рівноприскореного руху. Зокрема, тут досліджено проблему порівняльної міцності на згин геометрично подібних стрижнів. При розгляді проблем руху Галілей доводить, що швидкість падіння не залежить від маси тіла, що вона пропорційна часу, тоді як пройдений шлях – квадратові часу. Книгу цю Галілей держав у руках, але вже не бачив літер на її сторінках...

Ця трагічна обставина була відображена на могилі Галілея словами, в яких для наступних поколінь дано було відчуті всю міць його генія: «Втратив зір, оскільки вже нічого в природі не залишалося, чого він не бачив». Для нас же ці слова є нагадуванням, що межі дослідження немає!

Розділ 4. ВЕЛИКЕ ВТАЄМНИЧЕННЯ: НЬЮТОН

У XVII ст., завдяки працям Кеплера і Галілея, формується новий підхід до вивчення природи. Як прийнято говорити, «вперше наукова творчість ставала на міцний фундамент точного кількісного експерименту». В астрономії найактуальнішою проблемою було з'ясування фізичних причин руху небесних тіл – планет, що підлягали вже встановленим законам Кеплера, з'ясування причин існування Сонячної системи взагалі. Цю проблему розв'язав Ньютон.

«В основі методу Ньютона лежить експериментальне встановлення точних кількісних закономірних зв'язків між явищами і виведення з них загальних законів природи методом індукції, тобто переходом від наближених висновків зі скінченного числа конкретних спостережень до граничних, абстрагованих від частковостей точних законів. Розвиток індуктивних методів у фізиці почав Галілей. Ньютон довів його до логічного завершення.

...До часу початку наукової діяльності Ньютона, тобто до 60-х років XVII ст., нагромадилося немало нових фактів у фізиці та астрономії. Ньютон узагальнив їх, завершивши створення класичної механіки – динаміки, в основі якої лежали три встановлених ним закони. Він завершив і розпочав Галілеєм створення системи понять і принципів механіки...

Давня ідея взаємного устремління тіл одне до одного, яку трактували навіть як прояв «любові» між ними, звільнилася завдяки Ньютонові і від антропоморфності, і від містичної характеристики як у принципі непізнаної «прихованої якості», що не підлягає кількісному вивченню. В теорії Ньютона тяжіння стало емпірично обґрунтованим постулатом, який стверджував, що ця сила універсальна і проявляється між будь-якими матеріальними частинками незалежно від їхніх конкретних якостей і складу...

Об'єднати якісну ідею тяжіння зі спостережуваними законами руху небесних тіл виявилось під силу лише генію Ньютона. Ідея

перетворилася в точний універсальний закон гравітації як центральної сили... Причину і природу тяжіння Ньютон не вважав можливим обговорювати, оскільки для цього не було достатньої кількості фактів... Тому теорію тяжіння Ньютона можна назвати феноменологічною. Глибше пояснення гравітації було дано лише в загальній теорії відносності Ейнштейна» (А. Й. Єремєєва, Ф. О. Цицин, 1989).

§ 1. АСТРОНОМІЯ СЕРЕДИНИ XVII ст.

УСПИХИ ТЕЛЕСКОПІЧНОЇ АСТРОНОМІЇ. Увесь подальший розвиток астрономії, аж до формування сучасних уявлень про будову Всесвіту, був би неможливим без застосування телескопів. Історія ж їх створення та удосконалення виявилася довгою й нелегкою.

Як вже згадано, при виготовленні рефракторів астрономи почали використовувати схему, запропоновану Кеплером. У полі зору такого телескопа всі зорі видно однаково чітко. Невдовзі, однак, виявилося, що при сильніших збільшеннях зображення спотворювалися і забарвлювалися у всі кольори веселки. З теоретичних міркувань нібито випливало, що це відбувається внаслідок великої кривини лінз. Тому розпочали будівництво довгофокусних «повітряних» телескопів, фокусні відстані яких при діаметрі лінзи 5... 10 см досягали 20, 40 і більше метрів. При цьому лінзу-об'єктив в оправі подекуди встановлювали на високому стовпі, а внизу спостерігач за допомогою окуляра розглядав зображення, створюване у фокусі інструмента. Спрямовувати такий телескоп в конкретну ділянку неба було нелегко...

Декілька довгофокусних телескопів виготовив Х. Гюйгенс. Він запропонував робити окуляр з двох плоскоопуклих лінз, ця схема окуляра вживається дотепер.

Зразу ж після створення Галілеєм лінзового телескопа винахідники розробили схеми дзеркальних телескопів-рефракторів.

Варто згадати, що перший телескоп-рефрактор системи Кеплера збудував вже згадуваний Христоф Шейнер (1613 р.). Перші зусилля побудувати рефлектор здійснив Нікколо Зуччі (1586–1670), різні варіанти дзеркального телескопа розробили французький монах-мінорит Марен Мерсенн (1588–1648) – великий любитель і знавець точних наук, в келії якого щотижня збиралися вчені й такі ж прихильники (до 100 чоловік), а також шотландський математик і астроном Джеймс Грегорі (1638–1675). Однак вони не зуміли втілити свої

ідеї практично. І лише 1668 р. Ньютон власноручно побудував рефлектор з діаметром 2,5 см і фокусною відстанню 16,5 см. Телескоп давав 41-кратне збільшення. Матеріалом для виготовлення дзеркала був сплав з шести частин міді, двох частин олова і однієї арсену. Виготовлення телескопічних дзеркал було складною справою і держалося у великій таємниці.

Дзеркальні телескопи тих часів, як і лінзові, були дуже недосконалі. Дзеркала гнулися під власною вагою, тріскалися, їхня поверхня через кілька місяців темніла – телескопи, як тоді говорили, «сліпли» (до року відбивна здатність дзеркала зменшувалася від близько 90% до 10%). Проте вже ці недосконалі інструменти дали змогу зробити цілу низку відкриттів, підвищити точність у встановленні координат світил. Своєрідним репером, від якого тепер відлічували це зростання точності, були праці польського астронома Яна Гевелія. Використовуючи «дотелескопічні» кутомірні прилади – секстанти і квадранти – на збудованій ним у Гданську 1641 р. обсерваторії, він склав каталог 1564 зір з похибкою при визначенні координат усього 10" і навіть ще меншою, а це значно точніше, ніж у Тіхо Браге. Фактично Гевелій досягнув межі можливого для згаданих інструментів. До речі, Гевелій у Гданську відкрив фази Меркурія, чотири комети, а також уточнив період обертання Сонця.

За допомогою одного із своїх телескопів Гюйгенс 1655 р. відкрив супутник Сатурна Титан. І ось, чи не востаннє, звучить наївне розмірковування: «Просякнутий ідеями середньовічного містицизму, від якого з великими зусиллями звільнялися навіть найтверезіші уми його часу, він твердив, що оскільки кількість планет і супутників досягла тепер досконалого числа 12, то більше нічого не залишається відкривати» (А. Беррі, 1946). Невдовзі, щоправда, Гюйгенс зробив відкриття, яке зашифрував у вигляді номограми, що її він розшифрував у книзі «Система Сатурна» (1659 р.): «Сатурн оточений тонким плоским кільцем, яке ніде не дотикається з ним і нахилене до екліптики». У цей час складали карти Місяця і окремих ділянок зоряного неба (див. Вступ, § 8 і 10). Невдовзі, 1671–1684 рр., паризький астроном Джак Доменіко Кассіні (1685–1712) відкрив чотири невеликі супутники Сатурна. Він-таки, спостерігаючи окремі деталі поверхонь планет, визначив періоди обертання Юпітера (9 год 53 хв) та Марса (24 год 40 хв).

У 1667 р. французький астроном Жан Пікар (1620–1682) запропонував вставляти в окулярі телескопа дві навхрест натягнуті нитки. У цей простий спосіб, як виявилось, можна набагато надійніше фіксувати положення телескопа за напрямком. Поєднання ж такого телескопа з кутомірним приладом (наприклад, квадрантом) дало змогу майже у 100 разів підвищити точність визначення координат світил.

Іншим великим досягненням у мистецтві точних астрономічних спостережень було винайдення Гюйгенсом годинника з маятником, описаного в брошурі «Годинники» (1658 р.). Гюйгенс пристосував маятник до годинника, що приводився в рух гирями, і з того часу астрономи отримали можливість точно фіксувати моменти проходження зір через небесний меридіан і завдяки цьому визначати їхні координати зі значно вищою точністю, ніж це робилося раніше. Щоправда, саму можливість використання маятника для вимірювання часу збагнули ще 1586 р. Йост Бюргі (1552–1632), а згодом і Галілей. Проте лише Гюйгенсові вдалося розв'язати цю проблему, якій він присвятив близько 35 років свого життя.

У 1673 р. вийшла з друку головна книга Гюйгенса «Маятникові годинники», в якій вперше опубліковано співвідношення між періодом коливання маятника та його довжиною. Тут же наведено без доказу залежність відцентрової сили (цей термін також належить йому) від швидкості та радіуса обертання: $F_b \approx v^2/r$. Її він отримав ще 1659 р., але математичне обґрунтування, використовуючи закон падіння Галілея і геометричні побудови, він дав згодом, у рукописному трактаті «Про відцентрову силу». Варто згадати, що Гюйгенс – автор однієї з перших популярних книг з астрономії «Космотеорос», опублікованої посмертно 1698 р. Остання праця Гюйгенса (про годинники) опублікована 1693 р., за два роки до його смерті.

Дедалі зростаючі потреби в точних таблицях для визначення координат кораблів у морі привели до того, що в XVII ст. в окремих країнах були побудовані перші державні астрономічні обсерваторії: 1667 р. – Паризька, 1675 р. – Гринвіцька. З 1679 р. у Парижі почав виходити перший щорічник для мореплавців та астрономів під назвою: «Відомості про час і небесні рухи», що існує і досі.

Встановлення масштабів Сонячної системи. Протягом майже 2000 років астрономи, услід за Аристархом Самоським, приймали, що відстань від Землі до Сонця (астрономічна одиниця – а. о.) –

19 відстаней Земля – Місяць, або ж близько 1200 радіусів Землі, допускаючи помилку майже в 20 разів. Як ми вже бачили, така похибка не завадила встановити відносні масштаби Сонячної системи (Коперник) та виявити основні закони руху планет навколо Сонця (Кеплер). Проте, не маючи точних даних про величину радіуса Землі, не знаючи відстаней до Місяця і Сонця, Ньютон не зміг би встановити закон всевітнього тяжіння, не зміг би динамічно обґрунтувати геліоцентричну систему світу. Трапилося ж так, що масштаби Сонячної системи вдалося встановити якраз на початку його творчої діяльності.

Виміри довжини дуги меридіана, рівної 1° , у XVII ст. були здійснені декілька разів: 1614–1617 рр. голландським ученим Віллебрордом Снелліусом (1580–1626), 1636 р. англійцем Річардом Норвудом (1590–1675) та 1669–1671 рр. Пікаром. Якщо в першому випадку похибка виміру становила 2,9%, і в другому 0,45%, то в третьому виміряна величина довжини дуги відрізнялася від справжньої (111 км на 1° у середніх широтах) усього на декілька метрів! Так вже у XVII ст. було встановлено, що радіус Землі $R_\oplus = 6374$ км. Середня ж відстань від Землі до Місяця, яку оцінювали числом $60,5R_\oplus$, набула значення 385 600 км (тут і далі – в сучасних одиницях).

Як неважко збагнути, відстань від Землі до Сонця (1 а. о.) можна знайти, вимірюючи відстань до якої-небудь планети, наприклад, до Марса. Справді, за Коперником, відстань від Сонця до Марса становить 1,52 а. о., а в момент протистояння від Землі до Марса – 0,52 а. о.

У 1671–1673 рр. Дж.Кассіні та Жан Ріше (рік нар. невід. – 1696) одночасно визначають положення Марса серед зір: перший у Паризькій обсерваторії, другий – у м. Кайенна (Французька Гвіана в Південній Америці). За величиною паралактичного зміщення планети серед зір та відомою відстанню між пунктами спостережень розв'язуванням трикутника Париж – Марс – Кайенна і визначили відстань від Землі до Марса, а відтак встановили величину астрономічної одиниці: 1 а. о. = 140 000 000 км. Це число було усього на 6,3% меншим від його справжнього значення.

Так у другій половині XVII ст. масштаби планетної системи зросли у 20 разів.

Тоді-таки Гюйгенс спробував оцінити відстань до найяскравішої зорі неба – Сиріуса. Для цього він порівнював яскравості Сиріуса і «штучної зорі» – скляної кульки, на якій розсіюються сонячні

промені. У припущенні, що Сонце і Сиріус випромінюють однакову кількість світла (насправді потужність Сонця у 17 разів менша), Гюйгенс встановив, що відстань до Сиріуса принаймні у 28 000 разів більша, ніж від Землі до Сонця. Парадоксально, що й цю відстань тоді применшено у 19,6 раза. проте навіть такий результат підтверджував висновки Коперника і Галілея, що масштаби зоряного світу набагато більші, ніж їх уявляли люди в минулому.

У XVII ст. встановлено, що світло поширюється не моментально, а з певною, хоча й великою швидкістю. Сталося це так. У 1668 р. Дж. Кассіні розвинув теорію руху чотирьох відкритих Галілеєм супутників Юпітера та склав таблиці їх положень. Явище затемнення супутника Юпітером спостерігається на всій земній кулі практично моментально. Якщо синодичний період обертання супутника відомий, то ці моменти затемнень можна розрахувати на багато місяців наперед, причому подати їх у часі нульового (Гринвіцького) меридіана T_0 . І якщо затемнення було зафіксовано в момент T_1 за місцевим часом, то різниця $T_1 - T_0$ є географічною довготою спостерігача. Отже супутники Юпітера відігравали б важливу роль у мореплаванні.

Однак дуже швидко виявилось, що спостережувані моменти затемнень не збігаються з обчисленими. На цій підставі датський фізик Олаф Ремер (1644–1710) дійшов висновку, що це явище пов'язане зі скінченністю швидкості світла.

Справді, в момент, коли Юпітер видно ввечері на кутовій відстані від Сонця 90° , Земля при своєму русі навколо Сонця зі швидкістю 29,5 км/с віддаляється від нього. Синодичний період обертання першого супутника Юпітера (Іо) 42,5 год. За цей час Земля віддаляється від Юпітера на відстань близько 4 500 000 км – відстань, яку світло проходить за 15 с. Отже наступне затемнення Іо відбудеться не через 1 добу 18 год 28 хв 35,95 с, а на 15 с пізніше. І навпаки, через півроку, коли Земля рухається назустріч Юпітерові, кожне подальше затемнення закінчується на 15 с швидше від теоретично обрахованого проміжка – синодичного періоду обертання. Найбільша різниця між обчисленими значеннями становить 22 хв. У 1675 р. запрошений на роботу в Паризьку обсерваторію Ремер зробив висновок, що 22 хв – це час, за який світло проходить відстань, рівну різниці між найбільшою і найменшою відстанню Землі від Юпітера. Звідси випливало, що швидкість світла становить 215 000 км/с.

Відкриття Ремера було зустрінуте з недовірою і навіть насмішками. Бо практично тоді ж французький вчений Рене Декарт (1596–1650) твердив, нібито швидкість світла безмежно велика. Англійський вчений Роберт Гук (1635 – 1703) також покладав, що швидкість світла хоча і скінченна, то проте настільки велика, що її виміряти неможливо. Ремер зробив доповідь у Паризькій Академії наук, але більшість його слухачів були послідовниками Декарта... Не підтримав Ремера і Дж. Кассіні. Зрештою, вже тоді було відомо, що проміжки часу між двома затемненнями дещо змінюються і внаслідок еліптичності орбіти як самого Юпітера, так і його супутників.

У ПОШУКАХ КОСМІЧНИХ СИЛ. Вже Кеплер, з'ясувавши геометричні співвідношення планетних рухів, задумувався і над їхньою фізичною причиною. Він справедливо вважав, що дія сили притягання Землі простягається далеко за межі земної поверхні, а моря повилиталися б на Місяць, якби їх не затримувала Земля. Кеплер зробив правильний висновок, що планети рухаються навколо Сонця під дією сили, що відходить від Сонця. Він знав, що сила світла змінюється обернено пропорційно квадратові відстані освітлюваного тіла від джерела світла, і в «Гармонії світу» навіть поставив питання, чи не підлягає ослабленню сили притягання такому ж закону.

Але Кеплер не міг відкрити закон всесвітнього тяжіння. Так, він увів у фізику поняття інерції і навіть сам застосовував цей термін, розуміючи під ним явище опору нерухомих тіл рухові. Однак лише у «Сні», чи «Місячній астрономії», (примітці 75) він пише, що при взаємній рівновазі сил, які діють на тіло (коли ці сили «гасяться»), «тіло саме в цілому рухає свої частини». Але ця праця вийшла друком після смерті Кеплера. До того ж, услід за своїми попередниками, Кеплер вважав, що для руху планет необхідна підштовхуюча сила, джерело якої він і вбачав в обертанні Сонця. За Кеплером, природа цієї сили подібна до магнітної. Він писав так: «Земля притягує до себе всі тіла, що літають у повітрі, бо вони приковані до неї магнітною силою».

З часом (відповідно 1632 і 1641 рр.) учні Галілея Бонавентура Кавальєрі (1596–1647) та Еванджеліста Торрічеллі (1608–1647) сформулювали закон інерції у його сучасній формі: при відсутності збурюючих сил швидкість і напрям руху не змінюються. Звідси вже

логічне випливало, що планета відхиляється від прямолінійного руху силою, спрямованою до центра Сонця.

У 1645 р. французький вчений Ісмаїл Буйо (1605–1694) у своїй книзі «Астрономія філолаїчна, новий твір, у якому рух планет пояснюється за допомогою нової та істинної гіпотези» твердив, що сила, спрямована до центра світу, змінюється обернено пропорційно квадрату відстані. У 1666 р. італійський математик Джованні Альфонсо Бореллі (1608 – 1679) визнав, хоч і не зовсім у чіткій формі, що крім сили притягання, котра залежить від відстані, на кожному планету діє ще й відцентрова сила, величина якої зумовлена швидкістю руху планети. Обидві ці сили зрівноважують одна одну. Бореллі побудував також рухому модель планетної системи: у посудині, заповненій рідиною, планета зображувалася корком, Сонце – віссю. Корок притягувався до осі тому, що до них обох були прикріплені магніти. У посудині встановили мішалку, яка, діючи на корок, змушувала його рухатися навколо осі. Унаслідок цього на «планету» діяла відцентрова сила, і швидкість обертання мішалки добирали так, щоб обидві сили – притягання та відцентрова – зрівноважилися, і тоді корок описував у посудині правильні кола.

Після вже згаданої публікації Гюйгенсом книги «Маятникові годинники», де наведено формулу для відцентрової сили, стало зрозумілим, якою має бути рівна їй величина сили притягання, що утримує планету на певній орбіті, хоча сам Гюйгенс вважав поняття притягання позбавленим сенсу.

Декілька важливих думок про закономірності руху небесних тіл висловив Р. Гук. У 1674. р. він опублікував роботу «Спроба довести рух Землі», в якій писав, що його міркування щодо будови Всесвіту «базуються на трьох припущеннях. Перше, що всі небесні тіла, які б вони не були, володіють притяганням, або притягальною здатністю, спрямованою до власних центрів, завдяки чому вони притягують... також і всі інші небесні тіла, що перебувають у сфері їхньої дії. Друге припущення полягає в тому, що всі тіла..., яким надано прямолінійний і простий рух, будуть продовжувати рухатися по прямій доти, доки вони не будуть іншими діючими силами відхилені і приведені в рух по колу, еліпсу чи якійсь іншій, складнішій лінії. Третє припущення каже, що ці притягуючі сили такі, що вони діють тим сильніше, чим ближче притягуване перебуває до свого центра».

Що більше, Гук у листі до Ньютона від 6 січня 1680 р. писав: «Але моє припущення полягає в тому, що притягання завжди діє у зворотному подвійному відношенні до відстані від центра, і отже, швидкість буде в половинному відношенні до притягання, і отже, як уважав Кеплер, обернена до відстані». Менш ніж через два тижні (17 січня 1680 р.) він кидає виклик Ньютонові: «Тепер залишається дізнатися про властивості кривої лінії (не колової, не концентричної), яку визначає центральна сила притягання... у подвійному оберненому відношенні до відстаней. Я не сумніваюся, що за допомогою Вашого чудового методу Ви зможете легко знайти, що це за крива і які її властивості, а також запропонувати фізичне пояснення цього відношення». Відповідь, як видно з § 3, Ньютон дав на це через сім років...

Саме тоді були широко розповсюджені погляди Декарта, який, до речі, у книжці «Принципи філософії» (1654 р.) увів поняття міри руху як добутку маси тіла на його швидкість. За Декартом, первісна матерія (яку створив Бог, надавши їй початковий поштовх) завдяки своєму рухові розділилася на три елементи, що відрізнялися один від одного мірою «тонкості». З найбільших частинок утворилася Земля, планети і комети, з менш тонких – зорі і Сонце, з найтонших – речовина, що заповнює світовий простір. Ця «найтонша» речовина нібито перебуває у вихоровому русі. Кожна планета і кожний супутник розташовані у центрі свого вихору, наче соломинка у вирі. Вихор Сонця змушує планети обертатися навколо нього, вихор Землі рухає Місяць. Відхилення планет від колового руху Декарт пояснював зіткненням та викривленням вихорів. Вихор Землі нібито «притискає» всі земні предмети до поверхні планети, змушує їх падати на неї. Отже, тяжіння мало б бути намаганням тіла впасти до центра вихору. Припливи, за Декартом, є наслідком тиску, створюваного на поверхню океану вихором, що пов'язаний з рухом Місяця.

А ось погляд Декарта на природу комет (до речі, він був одним з перших, хто визнав, що комети перебувають далі від Землі, ніж Місяць). За Декартом, зорі мають ту ж фізичну природу, що й Сонце. На них, як і на Сонці, є плями. Кожна зоря оточена своїм «власним» вихором. І коли на зорі утвориться дуже багато плям і вона майже зовсім перестане світитися, то вона втрачає здатність утримувати біля себе свій вихор, і втягується іншими вихорами, мандруючи

у Всесвіті. Ми нібито і спостерігаємо її як комету, як тільки вона наближається до Сонця. Пізніше, мовляв, коли плями, тобто темні маси, що оточують зорю, руйнуються, комета знову перетворюється в зорю і, утворюючи навколо себе новий вихор, повертається на своє початкове місце. Можливо, маючи на увазі ці міркування, Декарт писав до вже згаданого Мерсенна: «Я не сумніваюся, що і зорі завжди дещо змінюють своє взаємне розташування, хоча їх і вважають нерухомими».

Теорія Декарта була неправильною в своїй основі. З неї не вдалося вивести жодних закономірностей щодо руху планет навколо Сонця. Проте вона майже на сто років завоювала великий авторитет на європейському континенті, витісняючи з університетів схоластичні уявлення, сприяла розвитку астрономії і торувала дорогу для динамічної моделі світу, побудованої Ньютоном. «Принципи філософії», однак, внесено в «Індекс» заборонених книг, бо Земля, охоплена вихором, все ж рухалася...

ПЕРЕМОГА ІДЕЙ КОПЕРНИКА. У свій час вже згаданий Рейнгольд писав: «Таким чином, саме тепер, коли астрономічні науки вже давно прагнуть мати нового Птолемея..., можна надіятися, що він прийшов до нас з Пруссії, а його божественним генієм будуть законно захоплюватися майбутні покоління». Так воно сталося і то дуже швидко. Крім Кеплера і Галілея поширенню ідей Коперника сприяли також інші вчені. Зокрема, в Голландії Симон Стевін (1548–1620) у «Математичних роздумах» (1605 р.) стверджував, що для пояснення сталої орієнтації земної осі у просторі немає необхідності у придуманому Коперником «третьому русі» Землі. Через три роки він же опублікував працю «Про рух небес», в якій виклав геліоцентричну модель світу. У 1576 р. англійський учений Томас Діггес (1546–1595) опублікував нарис геліоцентричної теорії, в який включив окремі уривки з праці Коперника. Його земляк Уільям Гільберт (1544–1603) твердив, що рух планет відбувається під дією сил магнітної природи, його «Нова філософія про наш підмісячний світ» вийшла у світ 1651 р. після смерті автора. Обидва згадані тут вчені відкидали існування сфери нерухомих зір.

Рішучим прихильником теорії Коперника був Ян Гевелій, який 1675 р. висловив твердження, що комети рухаються у просторі по параболах. Короткий виклад теорії Коперника містився і в «Театрі

комет» (1667 р.) іншого видатного польського вченого Станіслава Любінецького (1623–1675). Гюйгенс у книжці «Теорія космосу», виданій, як згадано вже, посмертно 1698 р., дав прекрасний виклад системи Коперника. Її також описав у своїй «Космографії» нідерландський географ Віллім Янсон Блеу. Книга ця була видана в Амстердамі 1620 р. і перевидана 1645 р., а приблизно через 20 років під назвою «Зерцало всея Вселення» з'явилася і в Росії, її переклад здійснено Епіфанієм Славінецьким (з двома помічниками). Там же, в Амстердамі, 1650 р. видано латинською мовою «Загальну географію» Бернгарда Варенія, в якій багато місця зайняв виклад системи Коперника і докази руху Землі. У 1718 р. її видано в Росії майже одночасно з перекладом «Теорії космосу» Гюйгенса.

Відомий лише один випадок, коли серйозний вчений намагався «поставити Землю назад на своє місце», удосконалюючи систему Тіхо Браге. Це вже згаданий у Вступі (§ 10) Джованні Річчолі. У його «Новому альмагесті» (де обговорено «Діалоги» Галілея і наведено докази як на користь теорії Коперника, так і проти неї) Місяць, Сонце, а також Юпітер і Сатурн рухаються навколо Землі, Марс же, Венера і Меркурій при цьому обертаються навколо Сонця. Однак цей рецидив некоперниканської системи не мав впливу на дальший розвиток астрономії.

Забігаючи дещо вперед, відмітимо, що, зокрема, польський вчений і новгородський воєвода, член Паризької Академії Юзеф Александр Яблоновський (1711–1777) у 1760 р. видав у Львові книжку «Про рух Землі», в якій намагався переконати церкву у правильності вчення Коперника. Через три роки цю книгу перевидано одночасно у Гданську і Римі. У 1768 р. єзуїт, викладач колегії у Любліні Григорій Аракелович (1732–1798) опублікував у Перемишлі трактат «Космологічне розмірковування, в якому обговорюється питання про те, як система Коперника узгоджується з філософією її особливо зі Святим Письмом», в якому він доводив несуперечливість теорії Коперника і Біблії.

З'явилися у цей час і твори, в яких розглядали можливість існування життя поза нашою планетою. Так, 1638 р. англійський природодослідник Джон Уїлкінс (1614–1672) у книжці «Відкриття нового світу» виклав гіпотезу, за якою Місяць заселений розумними істотами. У 1640 р. у книжці «Міркування про нову планету» він,

услід за Коперником, стверджував, що Земля – лише одна з планет, які обертаються навколо Сонця. До речі, Уїлкінс згодом став єпископом і одним із засновників Лондонського Королівського товариства. Обидві його книги протягом XVII ст. перевидано декілька разів, зокрема, французькою (1656 р.) та німецькою (1713 р.) мовами. Уїлкінс мріяв про польоти до інших небесних тіл, зокрема до Місяця, і не сумнівався, що в майбутньому людям вдасться побувати на ньому, наївно думаючи, що можна видресирувати птахів настільки, щоб вони донесли людину до Місяця на своїх крилах.

У 1686 р. у Франції видано книгу Бернара Ле Бов'є Фонтенеля (1657–1757) «Міркування про множинність світів», в якій популярно викладено теорію Коперника і Декарта, описані мешканці Місяця та інших планет: «Не слід дивуватися, чуючи, що Місяць подібний на Землю і, найімовірніше, заселений». Про супутники Юпітера у ній сказано: «Не менш імовірно, що і вони заселені...» Але, на думку автора, це не люди («які походять від Адама»), а «мешканці», оскільки «це цілком відповідає моїй гіпотезі про невичерпну різноманітність, що її проявляє природа у всіх своїх творіннях». У 1740 р. книга Фонтенеля була перевидана російською мовою у перекладі А. Кантеміра.

§ 2. «Звелів Бог – і з'явився Ньютон»

Таку епітафію склав Ньютонові англійський поет Александр Поп (1688–1744). В оригіналі її текст є таким:

Nature and Nature's laws lag hid in night.

God said: «Let Newton be!» And all was light.

(«Природа та її закони в одвічній темряві були приховані.

Та Бог звелів: «З'явися, Ньютоне!» І освітілось все»).

«Ньютон ще за життя став національним героєм. Його досягнення у фізиці були так значними, що їх сприймали за модель для пізнання усіх закономірностей у природі й суспільстві. В очах своїх сучасників він звершив чудо: він зрозумів мову Природи, що більше, він розпочав з нею діалог і на свої питання про те, як збудований світ, отримав чіткі й однозначні відповіді... Але сам Ньютон розумів прекрасно, що відповіді, які він отримав, не є дуже точними і не так однозначні... Ньютон знав, що закони Природи не можуть зводитися до однієї лише механіки. Та, з іншого боку, все, що він знав, він

розповів світові. Основи сучасної науки були ним створені» (В. С. Кирсанов, 1987).

Оглядаючись назад, ми можемо ставити собі питання: чому – Коперник? Чому саме Кеплер? Чому якраз Ньютон? Чи задовольнить нас відповідь, яку він дав на питання «як йому вдалося зробити свої відкриття?», – «я увесь час над цим розмірковував». І ще: «Якщо я побачив більше від інших, то лише тому, що я стояв на плечах велетнів...» Як також: «Не знаю, як на мене подивиться світ; але сам собі я здаюся хлопчаком, який грається на березі моря і захоплюється, якщо йому часом вдається знайти гладкіший проти звичайного камінчик або гарненьку черепашку; тим часом величезний океан прихованої істини простягається переді мною...» То все ж – чому?

Трудні роки навчання. Видатний англійський вчений, основоположник класичної теоретичної фізики Ісаак Ньютон народився 4 січня 1643 р., – сто років після смерті Коперника – у містечку Вулсторпі поблизу Грантема в родині фермера. Його батько помер за три місяці до появи сина на світ, а сам Ісаак народився надзвичайно слабким і хворобливим. З п'яти років він відвідував сільську школу, а з 12 – середню школу у Грантемі. Основним предметом навчання тут була Біблія і латинська мова, у старших класах вивчали ще грецьку мову, «але ні математика, ні фізика не входили тоді в програму середніх шкіл. Зараз неможливо собі уявити, що людина, яка закінчила школу в Грантемі і яка не мала навіть елементарної математичної освіти, через чотири роки зможе прийти до ідеї нового аналізу, відкриваючи тим самим нову епоху в математиці».

«В Грантемі Ньютона... певний час вважали одним із найгірших учнів, але з часом помалу він став виправлятися і в ньому почало просинатися зацікавлення до навчання і технічної творчості. Він захоплюється механічними моделями..., будує моделі водяних і вітрових млинів..., запускав зміїв з ліхтарем на хвості, нарешті побудував чотириколісного воза, якого пасажир приводив у рух за допомогою кривошипного механізму. Іншим його захопленням були сонячні годинники..., у нього виявилися здібності до рисування... Наприкінці його навчання в Грантемі на стінах його кімнати з'явилися... рисунки – кола і трикутники...»

Коли Ньютонові виповнилося 17 років, його мати вирішила, що йому пора закінчувати навчання – настав час займатися справжньою

справою. Вона взяла його з грантемської школи з наміром зробити з нього фермера. Відчаю Ньютона не було меж, і десять місяців, проведених в материнському домі, стали для нього суцільним жахом... На щастя, брат Ханни (матері Ньютона)... вмовив послати сина назад для підготовки до університету» (В. С. Кирсанов, 1987).

Після кількох місяців підготовки 4 червня 1661 р. Ньютон приїхав у Кембридж, містечко, що налічувало тоді 3000 мешканців, половина з яких були студенти. З огляду, очевидно, на скупість матері Ньютон три роки перебував у розряді сабсайзерів – «бідних студентів», обов'язком яких, крім іншого, було прислуговувати багатшим – будити їх зранку, чистити їхню одягу, прислуговувати за столом тощо. Програма навчання передбачала вивчення класичної філології та Аристотеля, передовсім його логіки, етики і в останню чергу філософії. Однак тут серед викладачів та студентів поширювалися твори Коперника, Кеплера, Галілея і Декарта. Із записів Ньютона, зроблених ним у студентські роки, видно, що він читав «Діалог» Галілея і ґрунтовно вивчав Декарта.

Після трьох років навчання віз став стипендіатом коледжу св. Трійці і «тепер, нарешті, міг цілком віддатися науковим дослідженням. Що він і зробив. Він працював з таким натхненням, що забував про їжу і сон. Розповідають, що його кіт сильно розтовстів, увесь час доїдаючи за нього обід, який залишався нечіпанним на підносі».

У 1665–1667 рр. в Англії лютувала чума. Ньютон повернувся додому і заглибився у вивчення найважчих наукових проблем. Згадував він (1714 р.) про ці роки так: «На початку 1665 р. я відкрив метод наближених рядів і правило для зведення довільного степеня будь-якого бінома до таких рядів. У травні того ж року я відкрив метод дотичних Грегорі і Слюза, а в листопаді – прямий метод флюксії і в наступному році, у січні, – теорію кольорів, а після цього, у травні, мав у розпорядженні зворотний метод флюксії. Того ж року я почав думати про тяжіння, що простягається до орбіти Місяця (знайшовши, як обчислити силу, з якою куля, що обертається всередині сфери, діє на поверхню сфери); з кеплерівського правила, що періоди планет знаходяться у півторному відношенні до їхньої відстані від центра орбіт, я вивів, що сили, які утримують планети на їхніх орбітах, повинні бути обернено пропорційні квадратам їхніх відстаней від центрів, навколо яких вони обертаються: у зв'язку з

цим я порівняв силу, яка необхідна, щоб втримати Місяць на орбіті, з силою тяжіння на поверхні Землі і знайшов, що вони дуже близько збігаються. Усе це відбулося у два чумних роки 1665–1666. Бо в цей час я перебував у найкращому для відкриттів віці і думав про математику і філософію більше, ніж коли-небудь пізніше». Але якщо все, тут перелічене, і справді досягнуте у згадані роки, то залишається незрозумілим, чому воно опубліковане через довгі десятиріччя...

НАБЛИЖЕНЕ ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНУ. Відкриття Ньютоном закону всесвітнього тяжіння сміливо можна назвати актом великого втаємничення людини в закони природи. Ґрунтовне викладення цієї проблеми він зробив 1687 р. у своїй книзі «Математичні основи природознавства». Перші же кроки у цьому напрямі ним були зроблені тогочасно 1666 р., і розпочалися вони від обчислення сили, «з якою куля, що обертається всередині сфери, діє на поверхню сфери», інакше – з встановлення формули для відцентрової сили. Для цього 23-річний Ньютон розглянув передовсім рух кульки з масою m і швидкістю v , назвавши величину mv «силою руху кульки», розглянув абсолютно пружний удар кульки в нерухомий екран, де величина Δmv була названа «тиском» або «силою одного зіткнення».

Використовуючи звичну нам термінологію, скажемо, що, за Ньютоном, у випадку прямого удару кульки в нерухомий екран зміна кількості руху рівна подвоєній її початковій величині. Таку ж зміну кількості руху буде мати тіло, що рухається по колу при проходженні його половини. Або, як пише Ньютон, «вся сила», з якою тіло намагається віддалитися від центра при звершенні півоберту, удвічі більша за ту, яка необхідна для того, щоб породити рух. Між цими двома випадками існує відмінність, яка полягає в тому, що при ударі ми маємо ментально діючу силу, а при обертальному русі – силу, яка діє постійно.

Ще не розуміючи, що це за сила, Ньютон... будує таку модель (рис. 3. 8): кулька, відбиваючись від внутрішньої поверхні екрана у формі кола, описує замкнену фігуру – квадрат. Якщо кулька зазнала одного зіткнення, то вона описує половину квадрата і проходить півколо; при цьому горизонтальна (на рисунку) складова його швидкості змінює свій знак на зворотний, друга залишається без змін. Тому зміна цього компонента при одному зударенні дорівнює її подвоєній величині. Ньютон складає пропорцію:

« $2fa : ab :: ab : fa ::$ сила або тиск b на fg при відбитті: силі руху b ». Більш звичний запис пропорції: $2fa|_{ab} = ab|_{fa}$; її отримують внаслідок того, що відношення гіпотенузи до катета у прямокутних рівнобедрених трикутниках незмінне. З другого боку, ab є мірою швидкості, а fa – мірою її горизонтальної складової. Тоді в сучасних позначеннях:

$$2fa|_{ab} = \Delta mv|_{mv} = ab|_{fa} = l|_r$$

де l – сторона [описуваного тілом] квадрата, r – радіус кола, mv – початкова кількість руху, Δmv – зміна кількості руху при одному ударенні.

Ясно, що для чотирьох ударень, при яких кулька описує квадрат, $\Sigma(\Delta mv)|_{mv} = 4l|_r$. Якщо сторони квадрата постійно подвоювати, то отримаємо для n -кутника: $\Sigma(\Delta mv)|_{mv} = nl|_r$. При $n \rightarrow \infty$ маємо $nl \rightarrow 2\pi r$ і $\Sigma(\Delta mv)|_{mv} = 2\pi$, або $\Sigma(\Delta mv) = 2\pi mv$. $\Sigma(\Delta mv)$ – повна зміна кількості руху за один оберт, отже $\Sigma(\Delta mv) = FT$, де $T = 2\pi r/v$, звідки $F = mv^2/r$, де F – сила, внаслідок дії якої тіло віддаляється від центра у кожному мить...

За допомогою третього закону Кеплера він показав, що для небесних тіл намагання віддалитися від центра їхнього обертання обернено пропорційне квадратові їх відстані від цього центра. Справді $F \sim v^2/r$ і $T \sim r^{3/2}$ при врахуванні того, що $v = 2\pi r/T$, дають $F \sim 4\pi/r^2 \cdot r^3/T^2$, а оскільки $r^3/T^2 = \text{const}$, то $F \sim 1/r^2$ » (В. С. Кирсанов, 1987). В записках самого Ньютона 1669 р. це звучить так: «в головних планет, оскільки куби їхніх відстаней від Сонця обернено пропорційні квадратам їхніх періодів, їх намагання віддалитися від Сонця буде обернено пропорційне квадратам їх відстаней від Сонця» (цей документ виявлений А. Холлом у 1957 р.).

За легендою (зрештою, повтореною принаймні чотирима незалежними свідцями, а тому не виключене, що цей випадок таки стався), коли Ньютон розмірковував у саду, його осяяла думка: можливо, сила, що змушує планети рухатися навколо Сонця, а

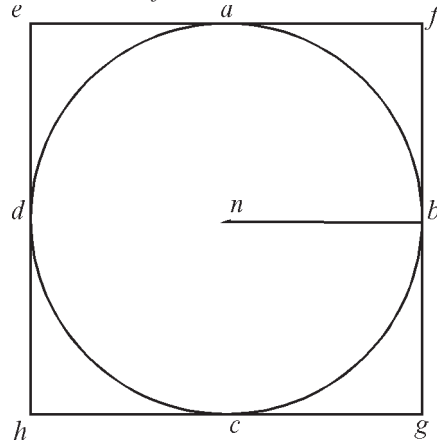


Рис. 3. 8. До встановлення Ньютоном формули відцентрової сили.

Місяць навколо Землі, є силою тяжіння, яка змушує яблуко падати на Землю. Наведені вище формули підтвердили його здогад, коли він порівняв прискорення, що їх у полі тяжіння Землі отримують відповідно яблуко і Місяць.

Проте результати цих своїх досліджень Ньютон опублікував лише через 20 років, у 1687 р. Учені, що наприкінці ХІХ ст. досліджували так звану Портсмутську колекцію рукописів Ньютона, висловили припущення: головною причиною цього було те, що Ньютон довго не міг розв'язати задачу про притягання сферою зовнішньої точки, інакше кажучи, 1666 р. він ще не міг довести, що тяжіння між двома матеріальними сферами еквівалентне взаємодії між точковими центрами цих сфер, якщо вважати, що в них зосереджена вся маса. Цей розв'язок Ньютон отримав значно пізніше.

Дослідження з оптики. Вже під час своїх вимушених канікул Ньютон провів важливі дослідження з оптики. Він купував призми, лінзи, полірувальний порошок, намагався шліфуванням покращити якість телескопічних лінз, надати їх поверхням ідеальну форму. Однак зображення світил залишалися поганими. Це привело Ньютона до думки, що причиною тут є не погана якість лінз, а сама природа світла. І тут же, пропускаючи вузький пучок сонячного світла через призму, Ньютон відкрив явище *дисперсії* – розклад білого світла у спектр. Стало очевидним, що таку ж властивість розкладати біле світло має і звичайна лінза. Тому Ньютон почав будувати дзеркальний телескоп, в якому цього ефекту (хроматичної аберації) не було б. Згодом, 1672 р., він доповість свої результати у повідомленні «Нова теорія світла і кольорів», а в 1704 р. вийде його «Оптика».

Як зауважив С. І. Вавілов, вже в першому мемуарі І. Ньютон «вперше показав світові, що може зробити і якою повинна бути експериментальна фізика. Ньютон змусив дослід говорити, відповідати на питання і давати такі відповіді, з яких випливала теорія». «Принципи філософії» Декарта починаються мудрим правилом: «Для дослідження істини необхідно раз у житті все піддати сумніву, наскільки можливо». Більше, ніж Декарт, цього правила дотримувався Ньютон. В його оптичних творах і «Основах» наука наче починається заново, як нібито до Ньютона науки не існувало. Велика, але дещо хаотична робота в царині вчення про кольори, що була

виконана до Ньютона, цілком поглинається і тьмяніє в його оптичних дослідженнях».

За допомогою власноручно виготовленого рефлектора (про який вже була мова) Ньютон міг спостерігати супутники Юпітера і фази Венери. Через три роки він виготовив дещо більший інструмент, який він подарував Королівському товариству. На телескопі вміщено напис: «Винайдений Ісааком Ньютоном і виготовлений його власними руками в 1671 р.» Телескоп було показано королеві, як також членам товариства. Захоплення від інструмента було велике, і через декілька місяців, 11 січня 1672 р. Ньютона було обрано членом Лондонського Королівського товариства. Тоді ж зразу, 6 лютого, він зробив свою доповідь про нову теорію світла і кольори. Але тут проти Ньютона виступив Р. Гук і ряд інших учених. Одною з причин цього було те, що Ньютон розвивав корпускулярну теорію світла, тоді як Гук, Гюйгенс та інші – хвильову.

Перед тим, 1669 р., Ньютон став професором кафедри фізики Кембридзького університету і на цій посаді пробував понад 30 років.

ВЗЕНІТІ СЛАВИ. Як вже згадано, Гук 1679 р. спонукував Ньютона зайнятися проблемою обґрунтування законів Кеплера і в зв'язку з цим проблемою тяжіння. Недавнє знайомство з колекцією рукописів Ньютона (Дж. Херівел, 1965) показало, що вже на початку 1680 р. він довів: у полі сили, яка підлягає законові зворотних квадратів, планета рухається по еліптичній орбіті. Однак свої результати Ньютон вважав незавершеними. Тимчасом до 1684 р. питання про те, як отримати закони Кеплера, виходячи із загальних принципів механіки, стало для англійських вчених одним із центральних. Тоді то Роберт Гук, лондонський архітектор Кристофер Рен і помічник (тоді) королівського астронома Едмонд Галлей дійшли висновку, що сила тяжіння змінюється обернено пропорційно квадрату відстані. Проте вони не знали, як довести, що під дією такої сили планета буде описувати еліптичну орбіту. Галлей приїхав у Кембридж проконсультуватися з Ньютоном і зі здивуванням виявив, що цю задачу той давно розв'язав. Щоправда тоді Ньютон не зміг знайти свої записи, але вже в листопаді Галлей отримав від Ньютона невеликий, на дев'ять сторінок, трактат «Про рух тіл по орбіті». У ньому розглянуто «пряму» і «зворотну» задачі: «задано форму орбіти – знайти силу» і «задано силу – знайти форму орбіти». Переглянувши рукопис,

Галлей знову поїхав у Кембридж і переконав Ньютона переслати цю працю Королівському товариству. Однак Ньютон вирішив спочатку її дещо розширити та доповнити. Лише на початку квітня 1687 р. Галлей отримав останню частину книги, а 5 липня 1687 р. під назвою «*Philosophiae naturalis principia mathematica*» – «Математичні основи природознавства» (бо саме таке значення мало поняття «натуральна філософія») вона вже побачила світ.

Про те, як жив Ньютон у ці роки, розповів його секретар (з 1685 по 1689) Хемфрі Ньютон: «Увесь цей час він... був дуже тихим, ввічливим, але завжди зосередженим у собі. Не пам'ятаю, щоб він коли-небудь сміявся, хіба що одного разу, коли його знайомий запитав: що він знайшов цікавого в Евкліда?

...Сер Ісаак був затворником, вічно сидів над своїми паперами, рідко бував у гостях, та й до нього мало хто заглядав... Він не любив розваг... Зі своєї кімнати він виходив лише для того, щоб читати лекції в університеті. Але слухачів було так мало – а ще менше таких, хто розумів його, – що нерідко він читав, можна сказати, перед порожніми стінами... Він до такої міри був занурений у свої заняття, що їв дуже рідко, взагалі часто забував про їжу, так що, бувало, зайдеш до нього в кімнату, а обід стоїть незайманий. Нагадаєш йому, він відповідає: «Зараз!» і проковтне стоячи дві-три ложки, – ніколи не їв сидючи, як усі люди. Спати лягав не раніше як у дві чи три години попівночі, іноді сидів до п'яти, навіть до шести, і взагалі відпочивав не більше 4–5 годин, особливо весною і восени...

Я не зауважив, щоб він пив коли-небудь вино, ель чи аналогічні напої, хіба що лише за їжею, та й то дуже мало... Лише один раз за весь час він хворів... Хворобу свою він переносив терпеливо і мужньо, і навіть як би не цінував життя; бачивши, як я стурбований його станом, він намагався мене підбадьорити».

З 1696 р. Ньютон – у Лондоні, спочатку наглядачем, а невдовзі директором Монетного двору. Цікаво, що не внісши у технологію жодних принципових покращань, він зумів підняти продуктивність його у 8 разів. З 1703 р. він – президент Королівського товариства. Помер Ньютон 31 березня 1727 р. у віці 85 років і був похований у Вестмінстерському абатстві – національному пантеоні Англії. На його могилі вміщено напис: «Тут спочиває сер Ісаак Ньютон, який майже божественною силою розуму вперше пояснив за допомогою свого

математичного методу рухи і форми планет, шляхи комет, припливи та відпливи океану. Він перший дослідив різноманітність світлових променів і особливості кольорів, що випливають звідси, яких до цього ніхто навіть не запідозрював. Старанний, проникливий і правдивий тлумач природи, старожитностей і Святого Письма, він прославив у своєму вченні всемогутнього Творця. Простоту, яку вимагає євангеліє, він довів своїм життям. Нехай смертні радіють, що серед них жила така краса людського роду».

Звичайно, ставлячи питання «чому саме Ньютон?» (чи Кеплер тощо), ми справедливо посилаємось на талант, цю іскру Божу в окремих людських душах, завдяки якій вони отримують здатність освітити морок незнання, що оточує людей в момент їхньої появи у світ. Важко робити узагальнення, однак привертає увагу та обставина, що Коперник, Кеплер і Ньютон були сиротами, отже позбавленими батьківського піклування, тепла, опори. І, як виглядає, замість зберігати (хоча б на рівні підсвідомості) жаль на долю – упродовж усього життя – вони, зосередившись та приглушивши цей жаль, змалку «взяли на себе відповідальність за своє життя» і сміливо долали труднощі на шляху їхнього духовного й інтелектуального зростання.

§ 3. «МАТЕМАТИЧНІ ОСНОВИ ПРИРОДОЗНАВСТВА»

У протоколі засідання Королівського товариства від 28 квітня 1686 р. записано: «Доктор Вінсент представив Товариству рукописний трактат, названий «Математичні основи природознавства» і присвячений Товариству шановним Ісааком Ньютоном. Автор трактату наводить математичний доказ гіпотези Коперника про небесні рухи з одного припущення про силу тяжіння, яка спрямована до центра Сонця і яка змінюється обернено пропорційно квадрату відстані від вказаного центра...».

Після публікації книги Ньютон продовжував доопрацьовувати викладені у ній питання. Тому друге видання 1713 р. (його повторюють амстердамські видання 1714 і 1723 рр.) дещо відрізняється від першого і щодо повноти викладу, і щодо структури. За життя автора було (1724 р.) здійснено і третє (фактично п'яте) видання книги. Тут подаємо опис структури книги за цим останнім виданням, переклад якого російською мовою у 1916 р. здійснив О. М. Крилов (1936 р.).

Отже, «Основи» складаються з трьох книг, яким передують розділи «Визначення» та «Аксіоми або закони руху». Тут Ньютон дав, зокрема, визначення маси, доцентрової сили, викладав власні погляди на простір і час, сформулював три добре відомі сьогодні закони руху. У перших двох книгах, що мають однакову назву «Про рух тіл» Ньютон розглянув питання про знаходження доцентрових сил, виведення їх із законів Кеплера, визначення орбіт тіл і, нарешті, про вплив середовища на цей рух (враховується тертя). Однак хоча Ньютон був одним із творців нового математичного методу (диференціального та інтегрального числення), у своїй праці він уникав застосування цих методів. Кожне із сформульованих ним тверджень або теорем він обґрунтував за допомогою геометричних прийомів. Очевидно, це зроблено для того, щоб полегшити читачеві вивчення викладених ним проблем: до геометричних доказів звикли всі, тоді як освоювати новий (принципово новий!) метод лише належало в майбутньому. Тому читати книгу Ньютона сучасному читачеві досить важко. Простою, звичною для нас мовою (диференціального та інтегрального числення) результати Ньютона виклав Леонард Ейлер (1707–1783) у своїй «Механіці» (1736 р.).

ПЕРША ЗАДАЧА. Для виведення закону всесвітнього тяжіння на основі законів Кеплера Ньютон спочатку довів тезу («Твердження VI»): «Якщо тіло P , обертаючись навколо центра S , описує криву APQ , і пряма ZPR дотикається до цієї кривої у точці P , і коли з якої-небудь точки Q до цієї кривої, дуже близької до P , проводиться пряма QR , паралельна SP , і на SP опускається перпендикуляр QT , то доцентрова сила буде обернено пропорційна граничній величині, до якої наближається кількість $\frac{SP^2 \cdot QT^2}{QR}$, коли точки P і Q збігаються в одну.

Бо QR дорівнює стрілці подвоєної дуги QP , серединою якої є P , а подвоєна площа трикутника SPQ , тобто $SP \cdot QT$ пропорційна часові, протягом якого ця дуга описується; отже цей добуток можна ввести у пропорцію замість часу».

Справді, якби на тіло не діяла доцентрова сила, то воно рухалося б по прямій PR (рис. 3. 9). Нехай тепер

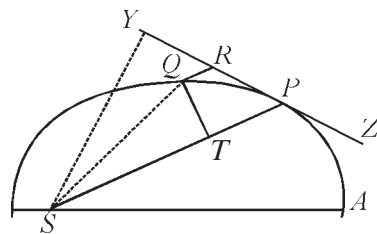


Рис. 3. 9. До визначення Ньютоном величини доцентрової сили.

g – прискорення доцентрової сили, τ – малий відрізок часу, за який тіло пройшло PQ . Величину відрізка QR неважко знайти за формулою рівномірно прискореного руху. Позначимо через C (відповідно до другого закону Кеплера) площу, яку описує радіус-вектор SP за одиницю часу. Тому маємо, що $C\tau = SP \cdot QT$

$$\text{або ж } \tau = \frac{SP \cdot QT}{C}.$$

Таким чином і знаходимо, що сила, яка діє на одиницю маси тіла P , дорівнює

$$g = 2C^2 \cdot \frac{SP^2 \cdot QT^2}{QR},$$

що й слід було довести.

На підставі цього співвідношення Ньютон і встановив закон всесвітнього тяжіння. Осць його міркування («Твердження XI»):

«Тіло обертається по еліпсу; треба знайти закон доцентрової сили, спрямованої до фокуса еліпса. Нехай (рис. 3. 10) S є фокусом еліпса. Проводимо SP , яка перетинає діаметр DK у точці E та ординату Qv в точці x та доповнюємо паралелограм $QxPR$; тоді виявиться, що EP дорівнює великій півосі AC еліпса, бо якщо провести з другого фокуса H пряму HI паралельно EC , то за рівністю CS і CH будуть рівними ES та EI , отже

$$PI = \frac{1}{2} (PS + PI),$$

але оскільки HI паралельно PR і кути IPR та HPZ рівні, то $PI = PH$, а сума $PS + PH = 2AC$.

На SP опустимо перпендикуляр QT та позначимо параметр еліпса через L так, що $L = \frac{2BC^2}{AC}$, маємо

$$L \cdot QR : L \cdot Pv = QR : Pv, \quad (1)$$

але $QR = Px$, з подібності ж трикутників Pxv та PCE випливає

$$Px : Pv = PE : PC,$$

отже $QR : Pv = AC : PC$,

$$L \cdot Pv : Gv \cdot Pv = L : Gv \quad (2)$$

і $Gv \cdot Pv : Qv^2 = PC^2 : CD^2$. (3)

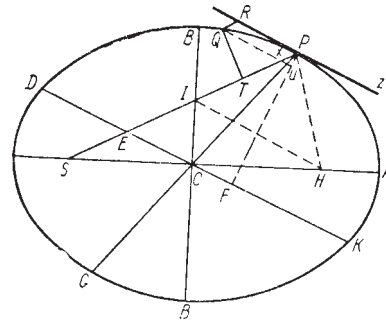


Рис. 3. 10. До визначення Ньютоном закону доцентрової сили, спрямованої до фокуса еліпса.

з фокуса S на PH перпендикуляр SK , уявимо, що побудовано малу піввісь BC .

Крім того, буде

$$SH^2 = 4CH^2 = 4BH^2 - 4BC^2 = SP^2 - 2KP \cdot PH + PH^2 = \\ = (SP + PH)^2 - L(SP + PH) = SP^2 + 2SP \cdot PH + PH^2 - L(SP + PH).$$

Звідси випливає $L(SP + PH) = 2SP \cdot PH + 2KP \cdot PH$,

інакше $(SP + PH) : PH = 2(SP + KP) : L$,

отже, PH буде відомим як за величиною, так і за положенням.

Потім, коли виявиться, що швидкість тіла в точці P така, що параметр L менший, ніж $2(SP + KP)$, то PH розташується по той самий бік від дотичної PR , як і пряма PS , і значить, шукана крива буде еліпсом, який і визначиться за фокусами S і H і за великою віссю $SP + PH$. Якщо ж швидкість така, що параметр L виявиться рівним $2(SP + KP)$, то довжина PH безмежна, і, отже, крива буде параболою, вісь якої SH паралельна PK і, отже, відома. Якщо ж тіло виходить з точки P зі ще більшою швидкістю, то довжину PH доведеться відкласти по інший бік дотичної, і тоді виявиться, що дотична проходить між фокусами, тобто крива буде гіперболою, дійсна вісь якої дорівнює різниці $SP - PH$ і, отже, відома».

Велику увагу Ньютон надав методам встановлення параметрів орбіт за декількома точками, рухам тіл по орбітах, апсиди яких переміщуються. Він встановив: якщо два тіла притягуються одне до одного, то жодне з них не залишається в спокої, а обидва вони, наче притягуючись до спільного центра, обертаються навколо нього. Сам же центр тяжіння або перебуватиме в спокої, або рухатиметься рівномірно і прямолінійно. Ньютон детально проаналізував рух двох менших тіл (типу Земля – Місяць) навколо третього, більшого (Сонця), а також усі особливості нерівномірного руху найменшого з них (Місяця), які неминуче при цьому виникають тощо.

Друга Книга, хоча і має ту ж назву, що й перша, присвячена іншим питанням – механіці рідин і газів. Ньютон був першим, хто висунув ці проблеми. Тут сформульовано теорію подібності, розглянуто поширення хвиль, причому встановлено співвідношення між довжиною хвилі, її швидкістю і частотою коливань, отримано закон опору для тіла, яке рухається в рідині (сила опору пропорційна квадратові швидкості тіла). Наприкінці розглянуто питання «Про коловий рух рідин» і (всупереч Декарту) зроблено висновок, що «планети не

можуть переноситися матеріальними вихорами... і гіпотеза вихорів цілком суперечить астрономічним спостереженням...»

«**Про систему світу**». Таку назву має третя книга «Основ», що розпочинається словами: «У попередніх книгах я виклав основи філософії, не стільки суто філософські, скільки математичні, однаке такі, що на них можуть бути обґрунтовані міркування про питання фізичні... Залишається викласти, виходячи з цих самих основ, вчення про будову системи світу».

Приступаючи до цього завдання, Ньютон формулює передовсім «вихідні» постулати. У першому виданні це були дев'ять «гіпотез», які в другому та подальших виданнях поділено на дві групи та дещо змінено. Після переробки третя книга складається з чотирьох «Правил висновків у фізиці», п'ятьох «Явищ», 42 «тверджень» та «Загального повчання». Перші три правила та їх інтерпретація звучать так:

«*Правило I.* Не слід приймати у природі інших причин, крім тих, які істинні і достатні для пояснення явищ.

З цього приводу філософи твердять, що природа нічого не робить надаремно, а було б даремно робити більшим те, що може бути зроблене меншим. Природа проста і не розкошує зайвими причинами речей.

«*Правило II.* Тому, наскільки це можливе, слід приписувати ті самі причини того самого типу явищам природи.

«*Правило III.* Такі властивості тіл, які не можуть бути ані посилені, ані ослаблені і притаманні всім тілам, яких можна випробувати, мають визнаватися за властивості усіх тіл взагалі».

Останнє Ньютон підкріплює такими міркуваннями: «...як дослідами, так і астрономічними спостереженнями встановлено, що всі тіла по сусідству з Землею тяжіють до Землі, і при цьому пропорційно кількості матерії кожного з них; так, Місяць тяжіє до Землі пропорційно своїй масі, і взаємно наші моря тяжіють до Місяця, всі планети тяжіють одна до одної; подібне до цього і тяжіння комет до Сонця. На основі цього правила треба стверджувати, що всі тіла тяжіють одне до одного».

В «Явищах» Ньютон наводить закони Кеплера, зокрема стосовно до Юпітера і Сатурна та їхніх супутників. «Явище III» звучить так: «П'ять головних планет: Меркурій, Венера, Марс, Юпітер і Сатурн –

охоплюють своїми орбітами Сонце». На доказ цього Ньютон подає зміну фаз Меркурія та Венери і повноту дисків верхніх планет.

Далі у «Твердженні IV» Ньютон розглядає рух Місяця навколо Землі та доводить тотожність сили тяжіння з силою притягання Землею усіх предметів на її поверхні. Саме завдяки цьому зіставленню Ньютон і встановлює закон всесвітнього тяжіння.

Обговоривши питання руху супутників навколо Юпітера і Сатурна, Ньютон зробив такі три висновки: 1) тяжіння існує на всіх планетах; 2) тяжіння, спрямоване до будь-якої планети, обернено пропорційно квадратам відстаней місць до центра її; 3) усі планети тяжіють одна до одної.

Після цього він формулює важливе твердження, що «всі тіла тяжіють до кожної окремої планети, і вага тіла на кожній планеті при однакових відстанях від її центра пропорційна масам цих планет». Бо «немає сумніву, що природа тяжіння на інших планетах така сама, як і на Землі».

Зіставляючи періоди обертання супутників навколо Юпітера та навколо Сатурна, Місяця навколо Землі, Ньютон, використовуючи узагальнений ним третій закон Кеплера, «зважує» Сонце та та вказані три планети: «...я знайшов, що ваги однакових тіл, які перебувають на однакових відстанях від центра Сонця, Юпітера, Сатурна і Землі, відносяться між собою відповідно, як числа 1, $1/1067$, $1/3071$ і $1/169282$ ». Що ж стосується маси Місяця, то Ньютон оцінив її за висотою припливних горбів. За Ньютоном, вона у 39,788 разів менша від маси Землі (насправді ж – у 81,3 разів).

Оскільки, далі, «діаметри Сонця, Юпітера, Сатурна і Землі відносяться між собою як 10 000, 997, 791 і 109..., то густини їх відносяться, як 100, $94^{1/2}$, 67 і 400...» Земля ж «учетверо щільніша від Сонця, бо внаслідок величезного свого розжарення Сонце розріджене».

Який величезний стрибок уперед порівняно з початком цього самого XVII ст.!

У міжпланетному середовищі, твердив Ньютон, речовина надзвичайно розріджена, тому «рух планет може зберігатися у небесних просторах протягом дуже тривалого часу». Зокрема, «Юпітер при обертанні в середовищі такої густини за 1 000 000 років не втратив би однієї мільйонної частки своєї кількості руху...»

У «Твердженні XXIV» Ньютон детально обґрунтував тезу, що «приплив і відплив моря зумовлюються дією Місяця і Сонця». І як тут не згадати написане Галілеєм у «Діалогах»: «...причини їх, недосяжні для Аристотеля, були, як кажуть, причиною його смерті; спостерігаючи довгий час це явище зі скелі Негропонту, він, охоплений відчаєм, кинувся у море і знайшов там добровільну смерть». І справді, як було не впасти у розпач, коли явище припливів та відпливів так не вкладалося у придуману Аристотелем схему «вимушених» рухів (угору) та «природних» рухів (униз).

У третій книзі Ньютон чимало уваги надав кометам. Тут передусім він доводить «Лему IV»: «Комети розташовані далі від Місяця і бувають в ділянці планет» і «повинні опускатися далеко всередину сфери Сатурна, що й доведено за їх паралаксами». Як і планети, «комети рухаються по конічних перерізах, що мають свій фокус у центрі Сонця та описують радіусами, проведеними до Сонця, площі, пропорційні [відрізкам] часу». Що ж стосується природи комет, то вони «сяють відбитим від них сонячним світлом», а «хвіст є не що інше, як найтонша пара, яку виділяє голова або ядро комети» внаслідок нагрівання Сонцем.

Ньютон задумувався і над джерелами енергії, яку випромінюють зорі. Наприкінці «Основ», де він обговорює можливість випадання комет на Сонце, читаємо: «Отже, нерухомі зорі, які поступово витратилися на світло й випаровування, можуть відновлюватися падаючими на них кометами і, одержавши новий запас пального, можуть бути сприйняті за нові зорі. Такого типу ті нерухомі зорі, які з'являються раптово і спочатку мають дуже сильний блиск, а згодом поступово зникають». Правда, на наступній сторінці читаємо таке: «Але виглядає, що нерухомі зорі, які по черзі з'являються і зникають, блиск яких зростає поступово та які за своєю яскравістю лише зрідка перевищують зорі 3-ої величини, відносяться до іншого типу, а саме: вони, обертаючись, повертаються до Землі то своєю світлою, то темною сторонами». Очевидно, тут, за аналогією з Сонцем, Ньютон уявив, що поверхні зір можуть бути майже суцільно вкриті темними плямами (що, зрештою, недавно підтверджено спостереженнями).

У «Загальному повчанні» Ньютон зазначив: «Таке витончене поєднання Сонця, планет і комет не могло статися інакше, як за наміром і за владою могутньої та премудрої істоти», яка «керує усім

не як душа світу, а як володар Всесвіту (Пантократор)», бо «від сліпої необхідності природи, яка скрізь і завжди одна й та сама, не може відбуватися зміна речей». Що ж стосується причини самого тяжіння, закінчує Ньютон свої «Основи», то «причину ж цих властивостей сили тяжіння я до цих пір не міг вивести з явищ, а гіпотез я не вигадую» (знамените ньютонівське *hypotheses non fingo*). Мовляв, «досить того, що тяжіння насправді існує і діє відповідно до викладених нами законів, і цілком достатньо для пояснення усіх рухів небесних тіл і моря».

Якщо бути точним, то Ньютон все таки зробив спробу пояснити причину сили тяжіння – у своїй «Оптиці» (1717 р.). Тут він обговорює проблему ефіру, який завдяки своїй «тонкості та еластичності», здатності «розширюватися і згущуватися» більше розріджений у порах тіл, ніж у навколишньому просторі. Ця неоднакова густина ефіру в різних місцях нібито і мала б бути причиною руху тіл одне до одного. Цікавим є 31-ше Питання «Оптики», де сказано, що «сили притягання між частинками можуть проявлятися до тих пір, доки відстані між ними не стануть дуже малими, і тоді замість притягання повинно проявитися відштовхування»!

Незважаючи на віру Ньютона у Володаря Всесвіту, йому не вдалося уникнути звинувачень у тому, що він «Боже провидіння замінив силою притягання». Філософ Готфрід Вільгельм Лейбніц (1646–1716) нападав на закон всесвітнього тяжіння за те, що він «підриває основи релігії, а, отже, і одкровення». Зате інший учений, французький математик Жозеф Луї Лагранж (1736–1813) сказав: «Ньютон був найбільшим генієм з усіх, які коли-небудь жили, і найщасливішим з них, бо лише один раз дано людині відкрити систему світу». Це – правда. Але вже в ХХ ст. А. Ейнштейн створив нову систему світу. Тимчасом і перша, і друга є лише менш або більш складним відображенням реальної картини світу. А пошуки загальніших законів його будови тривають!

Короткі висновки:

1. За 150 років (від 1543 до 1687 р.) в астрономії здійснено перехід від гео- до геліоцентричної моделі світу. Вирішальна роль тут належить Галілеєві, якого було прирівняно до Колумба, а його ім'я сучасники прославили у прозі та віршах. Один із сучасників Галілея (Мансо з Неаполя) заявив, що коли минуле, XVI ст., законно горде відкриттям нових земель, то XVII ст. навіки отримує славу відкриттям нових небес. Відповідно до цього збагачувався світогляд людей.

2. Релігійно-конфесійний плюралізм, що склався на той час у Європі, забезпечив майже безболісний перехід до нових поглядів на світобудову. «Священна конгрегація» з її «Індексом заборонених книг» не мала сили чи не на більшості території тодішньої Європи і не мала влади над більшістю вчених, які могли розвивати науку, не думаючи про інквізиторів. А час показав, що папа Урбан VIII дуже помилявся, коли твердив, нібито вчення Галілея для католицької церкви «небезпечніше, ніж писання Кальвіна і Лютера». Бо врешті-решт таки було визнано, що, за словами Кеплера, «Біблія вчить не того, як збудоване небо, а як до нього потрапити».

3. «Математичні основи природознавства» Ньютона – «це вічне джерело гордості всього мислячого людства» (Н. І. Ідельсон) – створили фундамент для вирішення цілого ряду проблем небесної механіки, астрофізики та зоряної астрономії і визначили напрям розвитку природознавства, зокрема астрономії на двісті наступних років...

ЧАСТИНА IV. ВІД НЬЮТОНА ДО ЕЙНШТЕЙНА

Вчений повинен систематизувати факти. Наука складається з них подібно до того, як будинок з цеглин. Однак просте нагромадження фактів схоже на науку не більше, ніж купа цеглин на будинок.

Анрі Пуанкаре

Винайдення телескопа і встановлення закону всесвітнього тяжіння стимулювали розвиток астрономії, сприяючи, з одного боку, нагромадженню нових результатів спостережень (відкриття нових об'єктів, виявлення невідомих раніше особливостей зовнішнього вигляду, як у випадку планет, Місяця чи Сонця, особливостей змін блиску окремих зір тощо), з другого ж забезпечили перехід від опису астрономічних явищ до їх пояснення саме на основі згаданого закону. Це останнє здійснювалося в рамках небесної механіки, до якої дехто зводив всю астрономію, про що свідчить хоча б ось це твердження відомої французької «Енциклопедії»: «Астрономія, власне кажучи, є прикладною частиною математики, яка вивчає небесні тіла. Їхні величини, рух, відстані, періоди, затемнення». Щоправда, вже й тоді, в середині XVIII ст., було розуміння потреби з'ясування природи небесних тіл. Тому далі там же читаємо: «Іноді астрономію розглядають ширше. Під нею розуміють вивчення Всесвіту, найпростіших законів природи. Виходячи з цього розуміння, астрономія швидше є частиною фізики, ніж математики...» Віддаючи належне фізиці двох попередніх століть, можемо все ж повторити слова А. Койре про те, що «сучасна фізика мала свій пролог на небі».

Бо мало хто сумнівається в тому, що якраз астрономічні дослідження зіграли вирішальну роль у формуванні наукового стилю мислення у природознавстві і в науці взагалі. Як зауважив В. Г. Торосян (1988), «астрономія, починаючи з XVII ст., стає цариною, де виявляється можливим найплототворніше поєднання впевненості у раціональній пізнаванності природи... з послідовно проведеним математичним підходом, що застосовується до все зростаючого емпіричного матеріалу».

Розділ 14. «ВИМІРЯТИ І ЗВАЖИТИ»: АСТРОМЕТРІЯ

XVII століття, в якому було звершено відкриття «нових небес» і законів їхньої будови, ставило перед наступними поколіннями астрономів нелегкі завдання. Передусім необхідно було уточнити відстань до Сонця. Мало що могли в ті часи астрономи сказати про фізичні умови на поверхнях планет, як також – скільки їх насправді обертається навколо Сонця. Геліоцентрична модель світу все ще потребувала підтвердження прямими спостереженнями. Залишалися невідомими відстані навіть до найближчих зір та нез'ясовані розподіл зір у просторі і їхні можливі рухи. Настав час добирати ключі і до розуміння фізики процесів, що відбуваються у надрах Сонця та інших зір. Зрештою, вимагала уваги навіть така, здавалося б, дріб'язкова проблема як форма Землі. Відповіді на ці й інші питання можна було отримати, удосконалюючи методи дослідження навколишнього світу, а передусім – будуючи щораз потужніші телескопи, причому не стільки щодо збільшення величини вхідного отвору, скільки (для потреб астрометрії) все точнішого відліку положення світила на небесній сфері.

§ 1. РОЗБУДОВА АСТРОНОМІЧНИХ ОБСЕРВАТОРІЙ

Вирішення перелічених вище проблем мало б головним чином задовольнити цікавість людини щодо масштабів Всесвіту, законів його будови і розвитку. Однак досягти цього можна було за допомогою телескопів, вартість яких завжди залишалася досить високою. На щастя, у всі часи розвиток астрономії був стимульований певними потребами: дві тисячі років тому це були намагання за положенням світил дізнатися про долю правителя чи цілої держави, в часи Ньютона – потреби мореплавання. Бо ж у XVII ст. єдиним методом встановлення довготи корабля у морі було визначення положення Місяця серед зір. І, як зауважив А. Паннекук (1966), «моряки були цілком задоволені, якщо їм вдавалося визначити довготу з точністю до двох градусів» (для середніх широт похибка становила близько 70 км)...

Тому «в XVII ст. астрономія стає справою державного значення... В очах керівників держав вона... зайняла перше місце завдяки практичному застосуванню астрономії для потреб географії та мореплавання, що й привело до організації перших обсерваторій як державних інститутів».

ЗРОСТАННЯ МЕРЕЖІ ОБСЕРВАТОРІЙ. Першою державною обсерваторією стала Паризька, вона була заснована 1671 р., а її директором став італійський астроном Джан Доменіко Кассіні. Через чотири роки, 1675 р., засновано Гринвіцьку обсерваторію і першим королівським астрономом став Джон Флемстід. Його завданням було «докладати найбільшу старанність і наполегливість до виправлення таблиць небесних рухів і положень нерухомих зір і точно так же визначати так бажані довготи місць для удосконалення мистецтва навігації». Після Флемстіда директором Гринвіцької обсерваторії став Едмонд Галлей. Розповідають, що коли король, дізнавшись про низький оклад королівського астронома (а це було 100 фунтів на рік), захотів збільшити його, Галлей, відмовившись, сказав: «Не робіть цього; якщо місце директора буде давати прибуток, то на нього забажають потрапити вже не астрономи...»

Першими інструментами обох обсерваторій були все ті ж квадранти радіусом 5 футів у Парижі і 7 футів у Гринвічі (1 фут = 30,48 см), оснащені невеликими телескопами. Варте, однак, уваги, що Флемстід на згаданому інструменті упродовж 30 років систематично визначав висоти в меридіані і моменти проходження Сонця, Місяця й планет, а також зір. Результатом цієї праці стала тритомна «Британська історія неба», у третьому томі якої було вміщено каталог 3000 зір, причому похибка при визначенні їх координат не перевищувала 10".

Кількість астрономічних обсерваторій з часом безперервно збільшувалася. Точніше, з 1560 до 1930 р. їх число зростало за експоненціальним законом, подвоюючись приблизно за кожні 35 років. У 1930 р. приватних і державних обсерваторій разом налічували близько 600. Деякі з них було закрито, так що на 1986 р. їх залишилося 378.

Довгий час астрономічні обсерваторії будували ледве не в центральних районах міст, у ХІХ ст. їх почали розташовувати на околицях міст, на гірських вершинах і хребтах.

Свої певні традиції зберігають українські обсерваторії: Львівська (рік заснування 1769), Київська (1845), Одеська (1871), Харківська (1878).

Труднощі, з якими стикалися астрономи при виконанні задуманих ними досліджень, часто виглядають неймовірними. Так, наприклад, Флемстід отримав посаду королівського астронома, тобто став директором обсерваторії, на якій не було ніякого інструмента і на що не було виділено жодних коштів. Спочатку він позичив кутомірний

прилад (7-футовий секстант) у свого друга, згодом побудував на свої кошти вже згаданий квадрант. А коли після смерті Флемстіда директором став Е. Галлей, то він виявив, що на обсерваторії знову немає інструментів, оскільки спадкоємці попереднього директора все вивезли. Лише після цього уряд видав певну субсидію на будівництво декількох інструментів.

Ситуацію, що склалася на початок ХХ ст., описали О. Струве та В. Зебергс (1968): «На початку цього століття доля людини, яка стала професійним астрономом, була досить незавидною. У найбільш розвинутих країнах звичайно була одна велика державна обсерваторія зі штатом від 10 до 20 наукових співробітників і допоміжного персоналу, а часто й менше. В основних університетах Німеччини, Франції, Росії, Англії і Сполучених Штатів звичайно була лише одна кафедра астрономії (і отже, лише один сталий професор). Деякі університети мали на службі одного або двох астрономів на посаді доцентів або викладачів; вони повинні були викладати належні курси і рідко коли мали час для наукових досліджень...

Оскільки більшість астрономів була підготовлена до спостережницької роботи, то вони звичайно намагалися роздобути кошти для придбання якогось сучасного інструмента, який залишиться у вжитку майже без змін протягом 50 і більше років. Вони ніколи не отримували асигнувань на сучасне устаткування, не рахуючи невеликих допоміжних приладів...

В доповнення до ряду невеликих астрономічних відділень при університетах на грані ХІХ і ХХ стт. було побудовано декілька великих обсерваторій... Багаті особи виділяли засоби на будівництво таких виняткових установ, як Лікська та Йеркська обсерваторії у Сполучених Штатах. Приблизно у 1875 р. майстер по роялях та органах Лік, який розбагатів спекуляціями..., передав Каліфорнійському університету засоби для будівництва обсерваторії. Йеркс – чиказький трамвайний магнат – також пожертвував значну суму Чиказькому університету на будівництво великого телескопа, допоміжних будівель та інструментів. У великій башті Йеркської обсерваторії знаходиться 40-дюймовий рефрактор – найбільший інструмент такого типу у світі. Обсерваторія Маунт Вілсон, що заснована Інститутом Карнегі у Вашингтоні, придбала 100-дюймовий телескоп завдяки фонду, заснованому Хукером – ділком із Лос-Анжелоса. Заснування

у 1839 р. Гарвардської обсерваторії частково зобов'язане тій широкій зацікавленості, яку спричинила в Новій Англії поява яскравої комети; її інструменти були оплачені декількома багатими людьми.

...Лікська обсерваторія протягом 70 років користувалася лише 36-дюймовим рефрактором, побудованим на гроші, що їх заповів Лік, і 36-дюймовим рефлектором – дарунком багатого англійського астронома-аматора Кросслі. Точно так же єдиним великим інструментом Йеркської обсерваторії був 40-дюймовий рефрактор, закінчений 1897 р., доки через декілька років Річі не побудував 24-дюймовий рефлектор».

Удосконалення оптики телескопів. Підвищення точності спостережень було неможливим без поліпшення оптики інструментів. І саме тут конструктори зустрілися із серйозними труднощами. Лінзові телескопи давали погане і слабе зображення, дзеркальні ж важко було пристосувати до вимірювального пристрою.

Істотний крок уперед в підвищенні якості рефракторів зробив у 1757 р. лондонський оптик Джон Доллонд, якому вдалося підібрати комбінацію стекол, що значною мірою усувала хроматизм. Такий об'єктив складався з двох двоопуклих лінз із звичайного скла (крон, що має малу домішку оксиду свинцю і коефіцієнт заломлення $n_k = 1,52$), між якими було вставлено двогнуту лінзу (флінт, велика домішка оксиду свинцю, коефіцієнт заломлення $n_f = 1,62$). Рефрактори з діаметром об'єктива до 10 см (4 дюйми) і довжиною труби до 120 см, що їх виготовляли в майстерні Джона Доллонда, були дуже зручні в користуванні. Ще кращої якості були телескопи, виготовлені в майстерні Дж. Рамсдена (зятя Дж. Доллонда), їх використовували у багатьох обсерваторіях і за межами Англії.

Дальше удосконалення рефрактора пов'язане з ім'ям німецького фізика Йозефа Фраунгофера (1787–1826), який був одним із засновників Оптичного Інституту у Мюнхені. Йому вдалося розрахувати точну комбінацію лінз, що забезпечувала найповніший ахроматизм, і виготовляти високоякісні об'єктиви діаметром до 24 см. Фраунгофер також сконструював механізм, що забезпечував повільне, услід за світилом, обертання телескопа навколо полярної осі.

І, нарешті, вершини (чи межі) у збільшенні діаметра об'єктива рефрактора досягли американські оптики шліфувальники Алван Кларк (1804–1887) і два його сини – Джордж (1827–1891) та Алван

Грейам (1832–1897). Організована ними фірма виготовляла найбільші об'єктиви у світі. Встановлено їх у телескопи в обсерваторіях Вашингтонській (діаметр 66 см, 1873), Пулковській (76 см, 1885), Лікській (91 см, 1888) та Йеркській (102 см, 1896).

Можливості дзеркальної системи належно оцінив Вільям Гершель. Випробувавши найкращий металічний сплав (мідь з третиною олова), він дуже старанно шліфував дзеркала і добивався високої якості зображень (усього він відшліфував близько 400 дзеркал, значну частину з них – на продаж). Найбільший з його інструментів – 40-футовий рефлектор з діаметром дзеркала 58 дюймів (відповідно 145 см при довжині труби 12,2 м). Однак більшість своїх спостережень він провів на 20-футовому телескопі з діаметром дзеркала 19 дюймів (47 см, довжина труби 6 м). Сестра Гершеля Кароліна так описала (1774 р.) його роботу над дзеркалом: «... коли він шліфував, мені навіть доводилося самій класти йому їжу в рот, інакше він зовсім охляв би: одного разу, закінчуючи шліфувати семифутове дзеркало, він не відривав від нього рук протягом шістнадцяти годин...»

Ще одним великим ентузіастом дзеркальної системи був Уільям Парсонс – лорд Росс (1800–1867), який з 1827 року почав серію дослідів по відливці великих металічних дзеркал. Та лише 1840 р. він опублікував свої перші результати, отримані за допомогою 26-футового телескопа з діаметром дзеркала 36 дюймів. Вершиною його зусиль був 60 футовий телескоп з діаметром дзеркала 72 дюйми або ж 6 футів (182 см при довжині труби 18 м). Шліфування і полірування дзеркала (у 2-метровому металічному диску необхідно було відшліфувати вгнутість глибиною до одного сантиметра) тривало три роки. Телескоп введено в дію (замок Берр на півночі Ірландії) 1845 р. Інструмент встановлено в меридіані між двома кам'яними опорами. Потужність цього телескопа була удвічі більша, ніж у Гершеля. Варте уваги ось це зауваження Ч. Уїтні (1975 р.): «Коефіцієнт відбивання цього сплаву майже такий високий, як у срібла, – відполірована поверхня відбиває близько двох третіх падаючого на неї світла і лише близько третини поглинає. Відливка таких дзеркал ставила нелегкі проблеми: якщо вміст сплаву змінювали так, щоб підвищити коефіцієнт відбиття, то дзеркало ставало дуже крихким і могло потріскатися в процесі виготовлення. Таким чином, добір складових частин сплаву перетворювався у своєрідну лотерею».

Не виключене, що перші спроби виготовлення дзеркал зі скла з наступним покриттям його срібною плівкою здійснив Джон Гершель (1792–1871). Принаймні він порадив молодому Генрі Дреперу (1837–1882) виготовити таке дзеркало і, як відомо, ця спроба була успішною. У 1864 р. Смітсонівський інститут опублікував монографію Дрепера «Про виготовлення телескопа з посрібленим дзеркалом діаметром 15,5 дюймів і про його застосування для фотографування неба». Спосіб шліфування і полірування скляної заготовки мало відрізнявся від методів виготовлення металічного дзеркала, але скло було значно легшим і міцнішим. І згадана книга Г. Дрепера стала настільним довідником для тих, хто займався виготовленням телескопів. Дрепер сконструював точний механізм ведення телескопа за світилом, що дозволило здійснювати тривалі експозиції, зберігаючи високу якість зображення.

Нові методи досліджень (передусім спектроскопічні) обумовили появу оптичної схеми, в якій зображення об'єкта за допомогою системи дзеркал спрямовують у порожнисту полярну вісь телескопа. Першу ідею щодо можливості такої схеми висловив 1871 р. директор Паризької обсерваторії Моріс Леві (1833–1907). Ця оптична схема телескопа отримала назву системи куде (від франц. *coudé* – ламаний) і вперше була реалізована 1882 р. там же, в Паризькій обсерваторії при виготовленні «екваторіала куде».

Допоміжні пристрої і методи. Ще 1689 р. Олаф Ремер в Копенгагенській обсерваторії сконструював *пасажний інструмент* – телескоп, що обертався навколо горизонтальної осі, встановленої в напрямі схід–захід, тобто міг рухатися лише в площині меридіана. Цей прилад дозволяв безпосередньо вимірювати схилення світила δ , а за реєстрацією моменту його проходження через вертикальну нитку у фокусі труби – і пряме піднесення світила. Згодом більші за розмірами астрометричні інструменти такого типу (об'єктиви до 20 см, фокусні відстані до 3 м), встановлені на надійних фундаментах, отримали назву *меридіанного кола*.

Відповідно було здійснено зусилля і удосконалення годинників. 1656 р. Х. Гюйгенс запропонував пристрій, в якому маятник годинника регулює обертання зубчастих коліс, а зубчаста передача водночас отримує імпульс, завдяки якому розмах коливань залишається однаковим. Аналогічно для переносних пружинних годинників він

же придумав «балансир» – регулятор, що рівномірно коливається. Згодом, 1736 р., англійський годинникар Джон Гаррісон (1693–1776), по-перше, для маятникових годинників побудував «гратчастий маятник», в якому обумовлений зміною температури ефект компенсувався комбінацією стрижнів з різних металів, що мають різні коефіцієнти видовження; по-друге, застосувавши цей же принцип до пружинного балансира хронометрів, він досягнув того, що хід хронометра практично не залежав від температури. Цим самим проблема визначення довготи корабля в морі, якщо брати до уваги її технічний бік, була вирішеною.

У 1667 р. французький фізик Адріан Озу (1630–1691) описав сконструйований ним *мікрометр*, який встановлювали на телескопі і за допомогою якого можна було вимірювати кутові діаметри Сонця, Місяця і планет, а також кутові відстані між зорями. На початку ХІХ ст. Й. Фраунгофер удосконалив цей пристрій. Згадані кутові відстані тепер вимірюють за поділками, нанесеними на головці гвинта тонкої нарізки (тобто малого кроку), за допомогою якого рухома нитка зміщується відносно нерухомого хребта ниток. Повертаючи мікрометр навколо осі телескопа так, щоб нерухома нитка збіглася з напрямом на дві вибрані зорі, можна відлічити і цей напрям, тобто позиційний кут, яким визначається відносне положення двох об'єктів.

Для вимірювання діаметра Сонця французький фізик П'єр Бугер (1698–1758) сконструював прилад *геліометр*, що складався з двох розташованих поруч однакових лінз, відстані між якими вимірювали у момент, коли створювані ними зображення Сонця дотикалися. Дж. Рамсден удосконалив цей інструмент, узявши половинки лінзи. Зміщуючи їх уздовж лінії розрізу, можна було отримати збіг або розходження двох зображень та вимірювати як малі, так і великі (до 3°) відстані. Й. Фраунгофер помістив ці половинки лінз в оправу, які зміщувалися одна відносно одної за допомогою мікрометричного гвинта. Як зазначив А. Паннекук (1966), саме геліометр аж до кінця ХІХ ст. використовували для вимірів відносних положень зір і планет.

У виданій посмертно (1760 р.) праці П. Бугера «Оптичний трактат про градацію світла» було викладено основи практичної фотометрії та описано конструкцію *фотометра*. Однак, за словами А. Паннекука, певний час до неї (фотометрії) не проявляли зацікавленості. У 1861 р. німецький астроном Йоганн К. Ф. Целльнер (1834–1882)

в «Основах загальної фотометрії неба» описав винайдений ним *зоряний фотометр*, в якому штучне зображення зорі створювалося маленьким отвором в екрані, встановленому перед полум'ям. Світло «штучної зорі» послаблювали за допомогою двох призм Ніколя. Під час спостережень штучну зорю зрівнювали з досліджуваною і відлічували, на який кут повернуто один ніколь відносно іншого.

Зразу ж після того, як 1859 р. німецькі вчені Роберт Вільгельм Бунзен (1811–1899) та Густав Роберт Кірхгоф (1824–1887) заклали основи спектрального аналізу, розпочалося виготовлення *спектроскопів* для дослідження небесних світил. Так, вже 1863 р. італійський астроном Анджело Секкі (1818–1878) запропонував першу класифікацію спектрів зір, 1864 р. італійський астроном Джованні Батіста Донаті (1826–1873) застосував спектроскоп для вивчення хімічного складу комет, і того ж року англійський астроном Уільям Хеггінс (1824–1910) – до вивчення туманностей.

У 1839 р. французький учений Домінік Франсуа Жан Араго (1736–1853) на засіданні Паризької академії наук повідомив про відкриття художником Луї Жак Манде Дагером (1787–1851) «прихованого зображення». Дагеротипія була першим способом *фотографії*, що ґрунтувався на розкладі йодистого срібла під дією світла. Араго тоді пророче вказав, що в майбутньому фотографії належатиме важлива роль у розвитку наук, особливо астрономії. 1842 р. у Франції отримано першу фотографію Сонця, в 1850 р. на Гарвардській обсерваторії (США) – перші вдалі знімки Місяця та зір Вега і Кастор. У 1851 р. здійснено перехід на мокрий колоїдний спосіб отримання негативного зображення, а з 1871 р. – на сухі броможелатинові пластинки, що були до того ж значно чутливішими.

У 1857 р. американський астроном Уільям-Кранч Бонд отримав фотографію зорі Міцар. Було виміряно відстань між складовими подвійної зорі та позиційний кут положення супутника і цим покладено початок *фотографічній астрометрії*. Однак об'єктиви, ахроматизовані відносно візуальних променів, не давали чіткого зображення. У 1864 р. Л. Рутенфорд в Нью-Йорку сконструював перший фотографічний об'єктив діаметром 29 см і за його допомогою 1865 р. отримав перші якісні фотографії зоряного неба. Невдовзі виготовлення астрономічних фотографічних об'єктивів стало звичайною справою. Варте уваги, що 1857 р. англійський

астроном Уоррен Деларю (1815–1889) вперше пристосував годинниковий механізм до астрографа.

У 1858 р. Деларю побудував перший фотогеліограф і почав проводити систематичне фотографування сонячної поверхні. Дещо пізніше, 1891 р., французький астрофізик Анрі Деландр (1853–1948) та американський астроном Джордж Еллері Хейл (1868–1938) незалежно один від одного винайшли *спектрогеліоскоп*, за допомогою якого розпочалося регулярне вивчення (візуальне й фотографічне) хромосфери Сонця по всій площині його диска.

На основі фотометричного методу розвинулася *поляриметрія* і дещо навіть раніше (з 1846 р.) *радіометрія* – «вимірювання теплоти» (інфрачервоне випромінювання Сонця відкрив 1800 р. Вільям Гершель). Першим вимірювано загальний потік теплового випромінювання від Місяця. Можливості обох цих методів реалізовані вже у ХХ ст.

«АСТРОНОМИ В ДОРОЗІ». Таку назву має один із розділів книги А. Паннекука (1966). Справді варте уваги, що для з'ясування окремих питань астрономи буквально змушені організовувати експедиції у віддалені частини світу. Однією з таких експедицій була поїздка Жана Ріше в Кайену (1671–1673), коли то за спостереженням Марса було визначено паралакс Сонця. Однак тут дуже важливим був побічний результат: в Кайені маятниковий годинник почав відставати на 2 хв за добу. Ріше усвідомив, що це відбувається внаслідок зменшення сили тяжіння за рахунок дії відцентрової сили, обумовленої обертанням Землі.

Важливу роль зіграли неодноразові експедиції в різні місця для вимірювання довжини дуги меридіана, завдяки чому було доведено факт сплюснутості Землі біля полюсів. Також неабиякі зусилля було вкладено для виїздів астрономів для спостережень проходження Венери диском Сонця 6 червня 1761 р. (було видне у всій Азії) та 3 червня 1769 р. (видне у Західній Америці). У першому випадку результат (вимірювався паралакс Сонця) був дуже неточним, що пов'язували з наближеним знанням координат спостерігачів. У 1769 р. ці координати були уточнені завдяки тому, що в той же день відбулося часткове затемнення Сонця. Для сонячного паралаксу отримано значення між 8,55" і 8,88" (істинне значення 8,79").

Традиційними стали наукові експедиції в смуги повних сонячних затемнень. І хоча це явище спостерігалось багатьма астрономами

і неодноразово, наукова вартість отримуваних результатів завжди є високою.

§2. РЕЗУЛЬТАТИ ТОЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Завдяки вдалому рішенню проблеми збереження і реєстрації часу при спостереженнях на меридіанних колах стало можливим визначення прямих піднесень і схилень зір з похибкою 0,01" (першу з координат навіть ще точніше). Це дало змогу скласти каталоги зір, виявляти їхні власні рухи тощо. І вже на початку обговорюваного тут періоду точність спостережень була достатньо висока, щоб отримати важливі результати. Це, зокрема, аберація і нутація, визначення середньої густини Землі, а тим самим і маси Сонця, навіть формулювання певного висновку щодо стійкості планетної системи.

Відкриття Брадлєєм аберації. Відкриття *аберації* (лат. *aberratio* – відхилення) було наслідком спроб виявити річний паралакс зорі, обумовлений рухом Землі навколо Сонця; він був би доказом правильності теорії Коперника. Ці спроби повторювали різні астрономи, і час від часу дехто з них заявляв, нібито його вдалося виміряти. Серед таких астрономів був і Р. Гук. Так, все той же Гук, низенький, горбатенький, який встигав за день відвідати декілька лондонських кафе і розповісти кожному зустрічному новини астрономії та фізики. Це той Гук, який завдяки своєму талантові зумів піднятися з неймовірної вбогості до крісла секретаря Королівського товариства. Гук, який справді багато дечого відкрив першим, але часто так і не зорієнтувавшись, що ж йому «припливло в руки». Отже одного разу Гук заявив усім, що він виміряв річний паралакс зорі γ Дракона й отримав число 30". І... коли б він був уважнішим, в історії астрономії було б записано: «аберацію відкрив Гук...»

Наприкінці 1725 р. англійський астроном Джеймс Брайлей (1693–1792) вирішив перевірити результат Гука. Для цього він використав зенітний сектор радіусом 7,2 м, дуга якого мала всього декілька градусів. Інструмент було встановлено в меридіані так, щоб його можна було спрямовувати на зорю, яка проходить через зеніт. Невдовзі Брайлей виявив, що кутова відстань зорі γ Дракона від зеніту справді змінюється упродовж року. З грудня до березня зоря змістилася на 20" на південь, з березня по вересень – на 40" на північ, а до початку

грудня знову, як і в червні, повернулася на своє «середнє місце». Похибка спостережень Бадлей не перевищувала 2”.

І все ж це не було паралактичним зміщенням. Бо взаємне положення зорі γ Дракона і Сонця на небесній сфері таке, що зоря повинна досягати найбільшого зміщення в той чи інший бік на три місяці раніше, ніж це показували спостереження. Бадлей писав: «Перше, що прийшло мені до голови, була нутація земної осі, але цього припущення невдовзі виявилось замало; хоча ним можна було пояснити зміни у схиленні γ Дракона, проте воно не відповідало явищам, які відбувалися з іншими зорями».

Було випробувано ще декілька пояснень, які також виявилися непридатними, а водночас упродовж двох років Бадлей переконався, що це зміщення – факт цілком реальний. Він виявив, що чим зоря ближче до екліптики, тим її зміщення уздовж меридіана менше.

Правильне пояснення аберації Бадлей зміг дати у вересні 1728 р., воно і було предметом його доповіді Королівському товариству на початку 1729 р. В «Історії Королівського товариства» (1812 р.) зазначено: Бадлей, плывучи на човні по Темзі, зауважив, що прапорець на щоглі змінює свій напрям відносно берега кожен раз, як тільки човен змінює свій курс. І він з’ясував, що напрям, який вказує прапорець, є наслідком складання швидкості вітру і човна: «Нарешті я догадався, що всі згадані явища настають внаслідок поступального поширення світла і річного руху Землі по своїй орбіті». Внаслідок цього «завжди буде існувати різниця між справжнім і видимим положенням об’єкта, якщо лише око не буде рухатися прямо до нього або від нього».

Справді, за час проходження світлового променя від об’єктива до окуляра сам телескоп (внаслідок руху Землі) зміщується. Тому його необхідно злегка нахилити в напрямі руху Землі, щоб вибране світило перебувало у центрі поля зору. Як вже зазначено, аберація стала серйозним доказом правильності теорії Коперника.

Водночас Бадлей зауважив, що до кінця року зоря не зовсім повертається в попереднє положення. З цього він зробив висновок, що «ці явища могли бути зумовлені впливом Місяця на екваторіальні частини земної кулі». Необхідно було прослідкувати за особливостями зміни положень декількох зір упродовж 19 років, за які вузли місячної орбіти повертаються на екліптиці на попереднє місце. Такі дослідження Бадлей і провів у 1726–1747 рр. На початку 1743 р. він

опублікував дані про *нутацію* (лат. *nutatio* – погойдування): земна вісь здійснює коливальний рух з періодом 19 років та амплітудою 18”.

Отже, досягаючи все більшої точності в спостереженнях зір та визначенні їх положень на небі, астрономи з’ясували, що необхідно виправляти результати – здійснювати *редукцію* спостережень – враховувати похибки інструментів, атмосферну рефракцію, аберацію, нутацію і прецесію, строго вказуючи *епоху*, на яку здійснено ці виправлення. Не дивно, що спостереження Брадлея, проведені між 1750 і 1762 рр. (а їх було близько 60 000), були опубліковані (після їх редукції) лише 1798 і 1805 рр. Фактично ж вони стали придатними для вжитку після їх публікації (1818 р.) в «Основах астрономії» Ф. Бесселя у формі каталога 3200 зір. За Бесселем, похибка брадлеевських спостережень при визначенні схилення менша 4”, прямого піднесення 1^s часу, тобто до 15”. Це була точність вища, ніж у Флемстіда.

Уточнення фігури Землі. Як згадано, перебуваючи в Кайені (географічна широта $\varphi = 5^\circ$), Жан Ріше звернув увагу на те, що маятник фіксованої довжини коливається там повільніше, ніж у Парижі. Звідси випливало, що прискорення сили тяжіння на екваторі менше, ніж у високих широтах. Було знайдено і пояснення цьому: дія відцентрової сили, яка виникає при обертанні Землі. Звідси неважко було зробити висновок, що з цієї причини Земля дещо сплюснута біля полюсів. Такий здогад і висловив Х. Гюйгенс близько 1683 р. та опублікував його 1687 р., оцінивши величину сплюснутості в $1/578$.

Незалежно від Гюйгенса і навіть дещо раніше від нього до такого ж висновку дійшов і Ньютон. Він уявно «прорив канал від полюса до центра Землі, звідки – до деякої точки на екваторі, заповнив ці канали водою і обчислив умови, за яких водяні стовпи, що притягуються до центра Землі, могли б пересувати у рівновазі». Отже в припущенні про однорідність Землі, враховуючи взаємне притягання всіх її матеріальних частинок, Ньютон знайшов, що відношення полярного радіуса Землі до екваторіального дорівнює $229/230$, так що сплюснутість її $1/230$ (сучасне значення $1/298,3$). Ньютон показав також, що якраз внаслідок відхилення форми Землі від сферичної під дією притягання Сонця та Місяця і відбувається прецесійний рух земної осі, він підрахував величину прецесії – 50” за рік. Щоб більше, за Ньютоном, цей прецесійний рух не може бути строго рівномірним, оскільки положення Сонця і Місяця відносно площини

земного екватора змінюються. Відповідне короткоперіодичне коливання – *нутація* – і було відкрите згодом Брадлеєм.

Однак французькі астрономи на підставі проведених протягом багатьох років вимірів довжини дуги меридіана прийшли до висновку, що довжина 1° меридіана зменшується до півночі. Найнепоступливішим серед них був директор Паризької обсерваторії Домінік Кассіні, згодом – його потомки і заступники на цій же посаді. Тому в своїх «Листах із Лондона про англійське» Вольтер 1730 р. писав: «Француз, який потрапляє в Лондон, виявляє, що все цілком змінилося у філософії... В Парижі ви бачили всесвіт, наповнений колосовими вихорами з найтоншої матерії, у Лондоні ви нічого цього не бачите... В Парижі Землі надають форму дині, у Лондоні вона сплюснута біля полюсів...»

Варте уваги, що 1732 р. Вольтер у трактаті «Елементи філософії Ньютона» виклав у популярній формі ньютонівську теорію світла і закон всесвітнього тяжіння. Він же був ініціатором перекладу «Основ» на французьку мову.

Щоб з'ясувати істину, Паризька академія прийняла рішення для виміру дуги меридіана послати (1735 р.) експедицію у північну частину Перу (тепер Еквадор), а також у Лапландію. Перша з них виконувала своє завдання майже десять років. До 1750 р. вже стало ясным, що зі збільшенням широти довжина дуги, яка відповідає 1° меридіана, зростає. Це вирішило суперечку на користь ідей Ньютона і значною мірою сприяло їх поширенню у Франції та в Європі в цілому.

Виміри паралакса Сонця. Подивимось дещо детальніше, як згадані вище експедиції розв'язували питання вимірювання паралакса Сонця, спостерігаючи проходження Венери по диску Сонця. На цю можливість вказав Е. Галлей, який 1676 р. поїхав на острів Святої Єлени (16° південної широти), щоб проспостерігати зорі, близькі до Південного полюса світу (1678 р. він опублікував каталог положень 341 південної зорі). Там же він 1677 р. спостерігав проходження Меркурія по диску Сонця і здійснив спробу визначити відстань до нього. Реєструючи моменти вступу і сходження планети з диска Сонця, Галлей, однак, отримав для паралакса Сонця явно незадовільний результат $45''$. Він зробив висновок, що точність методу буде набагато вищою, якщо спостерігати проходження по диску Сонця Венери: «Це спостереження такого типу, яке одне лише і може дати

в наступному столітті відстань від Сонця до Землі, а саме коли Венера перебуватиме перед сонячним диском 26 травня 1761 р., тоді паралакс Венери буде майже утричі більшим сонячного, спостереження будуть зручними і все, що можна отримати при цьому, буде легко здійсненне», писав він 1691 р. (вказавши дату за старим стилем).

Як знаємо, оскільки площина орбіти Венери нахилена до екліптики під кутом $3,39^\circ$, то згадане явище трапляється лише у випадку, коли планета у нижньому сполученні перебуває поблизу вузла своєї орбіти. А оскільки ці вузли повільно зміщуються відносно точки весняного рівнодення, то проходження Венери через диск Сонця відбуваються з інтервалом 121,5; 8; 105,5 і 8 років: у червні 1761 і 1769, у грудні 1874 і 1882 рр., а в майбутньому 8 червня 2004 і 6 червня 2012 рр., далі 11 грудня 2117 р. та 8 грудня 2125 р.

Задача полягає в тому, щоб зафіксувати моменти «дотику» дисків Сонця і планети та їх «відриву». Різниця цих моментів дає тривалість проходження Венери через диск Сонця t_A (t_A сягає 7 годин, якщо планета проходить через центр диска) для спостерігача, що перебуває у певному пункті A з відомими географічними координатами. Якщо ж пункти A і B розміщені на різних широтах, то для спостерігача в пункті A Венера пройде по хорді CD , а для спостерігача в пункті B – по лінії EF (рис. 4. 1). При проходженні Венери по краю сонячного диска різниця часу $t_A - t_B$ може досягнути півгодини. Оскільки $\sphericalangle aVb = \sphericalangle AVB$, то за відомою відстанню AB неважко визначити відстань від Землі до Венери, а отже і до Сонця.

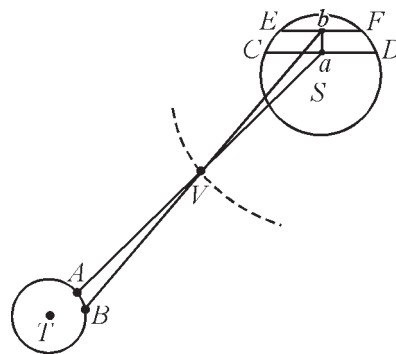


Рис. 4. 1. Проходження Венери через диск Сонця, як воно спостерігається з двох пунктів Землі.

Опрацювання даних про проходження Венери 1769 р. завершив 1885 р. німецький астроном Йоганн Франц Енке (1791–1865) (до цього вказували – «між $8''$ і $9''$ »), з цих же спостережень отримано величину $8,57''$. Це відповідає відстані від Землі до Сонця $153,5$ млн. км, що й було прийнято на багато десятиліть.

Як відомо, при спостереженнях проходження Венери через диск Сонця у 1761 р. російський вчений М. В. Ломоносов (1711–1765)

виявив деформацію краю диска Сонця при наближенні до нього Венери. З цього М. Ломоносов зробив висновок, що планета Венера оточена «повітряною атмосферою, такою (аби не більшою), яка оточує нашу кулю земну». Це був доказ фізичної подібності однієї з планет до Землі.

Визначення маси Сонця. В «Основах» Ньютон оцінив маси тіл Сонячної системи у відносних одиницях. З третього, узагальненого закону Кеплера неважко знайти, що $\mathcal{M}_{\odot} = 330\,000 \mathcal{M}_{\oplus}$. Для визначення ж цієї другої необхідно мати певні міркування про середню густину Землі $\bar{\rho}_{\oplus}$. Ньютон оцінив її, виходячи з таких міркувань: «Оскільки звичайні верхні шари Землі мають густину приблизно удвічі більшу, ніж вода, а дещо глибше, у шахтах, є приблизно в три, чотири і навіть 5 разів важчі, то імовірно, що вся кількість речовини Землі приблизно у 5 чи 6 разів більша від того, як коли б вона вся складалася з води». Цей здогад, як з'ясувалося пізніше, був дуже точний, проте його слід було підтвердити безпосередніми вимірюваннями. У 1749 р. французькі астрономи П'єр Бугер та Шарль Марі Кондамін (1701–1774), проводячи спостереження в Перу поблизу гори Чимборасо, встановили, що висок (маятник) відхиляється від вертикального положення на $7''$ – $8''$. Це нашттовхнуло їх на думку, що можна оцінити масу Землі, порівнюючи її з масою гори, яку неважко обчислити. Проте їхня спроба не вдалася.

У 1774 р. англійський астроном Невіл Маскелайн (1732–1811) здійснив аналогічні виміри, обравши для цього гору Шегальйон у Шотландії – вузький гранітний хребет, що простягнувся з заходу на схід. Виміри зенітної відстані полюса провадилися у двох точках, розташованих на одному меридіані, один із пунктів був північніше, другий – південніше хребта. Якби між ними не було гори, то відстані між ними, (1330 м) відповідали б різниці зенітних відстаней полюса світу $43''$. Проте після завершення спостережень вони виявили, що ця відстань становить $54,8''$: висок відхилився від вертикалі на $5,8''$. Поклавши, що і маса гори і маса Землі сконцентровані у їх центрах ваги, можна було після деяких обчислень знайти, що густина Землі у 1,8 рази перевищує густину гори. Таким чином, при середній густині гори (граніту) $2,6 \text{ г/см}^3$ було знайдено $\bar{\rho}_{\oplus} = 4,7 \text{ г/см}^3$. У 1798 р. Генрі Кавендіш (1731–1810) «замінив» гору парою свинцевих куль завважки 158 кг кожна. До цих мас притягувалися пробні маси вагою

по 729 г, які було встановлено на горизонтальній дерев'яній паличці, підвішеній за центр ваги на тонькому срібному дроті. Мірою сили притягання тут був кут, на який закручується нитка. Так було знайдено що середня густина Землі $\bar{\rho}_{\oplus} = 5,5 \text{ г/см}^3$ і що маса Землі $\mathfrak{M}_{\oplus} = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$, і, отже, що маса Сонця $\mathfrak{M}_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$.

РІЧНІ ПАРАЛАКСИ ЗІР. Невдалі спроби виявити річні паралакси зір, які супроводжували роботу астрономів з часів Браге, зміцнювали їхню впевненість у тому, що відстані до зір справді величезні. Наприклад, у книжці «Розмірковування про будову світу» (1770 р.) петербурзького академіка Франца Епінуса (1724–1802), в якій викладено теорію Коперника, вказано такі відстані до зір: «вісім тисяч крат тисяча мільйонів миль... до найближчої нерухомої зорі від нас». А це – 6,5 світлового року (1 миля = 7,5 км).

Ще Галілей у «Діалогах» устами коперниканця Сальвіаті запропонував диференціальний метод виявлення паралактичного зміщення зір: вимірювати кутові відстані між двома близькими на небесній сфері зорями, які істотно відрізняються між собою за блиском. Але і Бредлей зробив правильний висновок про те, що за допомогою наявних у нього інструментів виявити річний паралакс неможливо.

Після Гюйгенса були намагання встановити відстані до зір фотометричним способом. Так, 1801 р. Генріх Ольберс, порівнюючи блиск Альдебарана з блиском Марса, знайшов для цієї зорі паралакс $0,60''$ (насправді – $0,048''$), а з порівняння блиску Прокіона і Сатурна – паралакс Прокіона $0,57''$ (насправді $0,288''$). Джон Гершель у праці «Про паралакси нерухомих зір» (1826 р.) запропонував вимірювати зміну позиційних кутів близьких оптичних пар зір. Розрахунок показує, що коли зорі є на кутовій відстані $5''$ і паралакс одної з них – $1''$, то це призведе до коливань величини позиційного кута майже на $11,5^\circ$, а якщо кутові відстані між зорями $1''$, то на 53° . Так Дж. Гершель для 69 зір знайшов величини паралаксів у межах від $0,020''$ до $0,136''$.

Тут доречно згадати і про результати, отримані 1812–1822 рр. професором Дублінського університету, президентом Ірландської академії наук (і єпископом), Джоном Брінклі (1763–1835). З його спостережень випливало, що паралакси зір Веги, Арктура й Альтаїра дорівнюють відповідно $0,57''$, $0,50''$ і $1,73''$ (справжні їхні значення $0,13''$, $0,10''$ та $0,20''$).

Можна, очевидно, прийняти, що перший в історії астрономії достовірний індивідуальний паралакс зорі визначив та опублікував 1822 р. у третьому томі «Дерптських спостережень» В. Я. Струве (1793–1864). Це була зоря Альтаїр. За Струве, її паралакс $0,181''$ (справжнє значення $0,198''$). Струве використав метод спостережень пар зір, прямі піднесення яких відрізняються приблизно на 12 год, фіксував моменти їх кульмінацій (верхніх і нижніх) і в підсумку отримувал лінійні комбінації паралаксів обох зір кожної досліджуваної пари. Загалом у згаданій праці Струве показав, що паралакси 27 яскравих зір не перевищують $0,50''$.

У 1837 р. В. Я. Струве опублікував каталог «Мікрометричні виміри», до якого увійшли результати його 15річних спостережень подвійних зір. Там же він повідомляв про визначення паралакса Веги $0,125''$ (насправді $0,121''$).

У 1839 р. були опубліковані результати вимірювань паралакса зорі 61 Лебеда, отримані Ф. Бесселем: $\pi = 0,314''$ (насправді $0,293''$). У тому ж році англійські астрономи Томас Гендерсон (1798–1844) і Томас Маклір (1794–1879) – другий замінив першого на посту директора Капської обсерваторії у Південній Африці – визначили паралакс зорі α Кентавра: $\pi = 0,976''$ (справжнє значення $0,751''$). З цієї нагоди Джон Гершель сказав: «Стіна, що перешкоджала нашому проникненню у зоряний Всесвіт,.. була пробита майже одночасно у трьох місцях. Це – найвеличніший, найславніший тріумф, що його коли-небудь переживала практична астрономія».

Річні паралакси зір були другим доказом руху Землі навколо Сонця. На цей час було знайдено і докази добового її обертання. У 1791 р. італієць Джованні Гульєльміні виявив, що металічна куля, яка падає з висоти 73 м, відхиляється до сходу майже на 1 см. У 1851 р. французький фізик Жан Бернар Леон Фуко (1819–1868) під куполом паризького Пантеону підвісив на дроті довжиною 57 м важку (28 кг) металічну кулю. При коливальному русі площина коливань маятника безперервно повертається, що і є свідченням обертання Землі. Для спостерігача, який перебуває на географічній широті φ , кут повороту маятника за 5 хв. коливань дорівнює $1,25^\circ \sin \varphi$.

Власні рухи зір. У 1718 р. Е. Галлей, порівнюючи значення екліптичних широт Альдебарана, Сиріуса та Арктура з даними каталога Птолемея, виявив, що всі три зорі перебували більш як на $0,5^\circ$

південніше, ніж це впливало з цього каталога. Галлей зауважив: «Навряд чи можна повірити тому, що давні помилялися... З іншого боку, ці зорі, як найпомітніші на небі, найімовірніше, є найближчими до Землі; а якщо вони мають особливий власний рух, то це – найкраща нагода для того, щоб його зауважити...»

Так було виявлено *власні рухи зір*. Зроблено, отже, висновок, що зорі не займають, одна відносно одної, на небі фіксованого положення, а тому потрібні вимірювання їх положень з якомога більшою точністю. Подальше вивчення цього ефекту стало можливим завдяки зусиллям Н. Лакайля, який проспостерігав і склав каталог близько 2000 зір південної частини неба (для цього він чотири роки пробув у складі експедиції на мисі Доброї Надії), а також німецького астронома Тобія Майєра (1723–1762). Цей другий, порівнюючи результати своїх спостережень з даними каталога Лакайля та інших авторів, виявив власні рухи 57 зір. Таку ж роботу проводили Н. Маскелайн (який отримав дані про власні рухи 36 яскравих зір) і Жозеф Лаланд. Лаланд упродовж 1788–1803 рр. визначив координати понад 47 000 зір, Ф. Бессель з 1821 по 1833 р. – понад 75 000 зір.

У 1783 р. В. Гершель, порівнюючи вже відомі власні рухи 14 (за іншими даними – 59) зір, зауважив, що в напрямі сузір'я Геркулеса зорі наче розбігаються, тоді як в протилежній ділянці небесної сфери збігаються. З цього він зробив такий висновок: оскільки деякі зорі рухаються, а, крім того, усі зорі притягують одна одну, то всі зорі, серед них і Сонце, рухаються у просторі. При цьому рух Сонця може бути виявленим за видимими зміщеннями зір у протилежному напрямі. Точка небесної сфери, до якої рухається Сонце, так званий апекс (лат. *apex* – вершина), за Гершелем, є поблизу зорі λ Геркулеса. Гершель оцінив і швидкість, з якою Сонце рухається відносно найближчих зір: «...Ми можемо звичайним шляхом встановити, що сонячний рух напевне не може бути меншим за той рух, який Земля звершує по своїй річній орбіті» (як тепер знаємо, Гершель вказав число, в півтора рази більше справжнього).

§ 3. Декілька цікавих відкриттів

Серед усього багатства відкриттів XVII–XIX ст. виділяються декілька, що пов'язані не стільки з особливою точністю спостережень, скільки з науковим мисленням ученого.

КОМЕТА ГАЛЛЕЯ. Першу перемогу закону всесвітнього тяжіння принесли комети. Але передовсім варто пригадати, що, вивчаючи особливості їхнього руху у просторі, Й. Кеплер покладав, нібито вони переміщуються там по прямих лініях. Згодом, 1664 р., Дж. Бореллі прийшов до висновку, що комети рухаються по параболічних орбітах. В «Основах» Ньютон обґрунтував тезу, за якою орбіти комет є конічними перерізами. Зокрема, це може бути еліпс з великим ексцентриситетом. Ньютон запропонував також метод обчислення параметрів орбіт комет.

У 1705 р. були опубліковані «Нариси кометної астрономії» Едмонда Галлея, де викладено результати обчислень орбіт 24 комет. Галлей звернув увагу на те, що орбіти трьох комет, які спостерігали 1531, 1607 і 1682 рр., дуже схожі між собою. Він і зробив висновок, що це одна і та ж комета, яка обертається навколо Сонця по дуже витягнутій еліптичній орбіті з періодом близько 75–76 років, і передбачив її повторне повернення до Сонця 1758 р. Різницю ж між 76-річним проміжком, який відділяв появу комети 1607 р. від попередньої 1531 р. і коротшим проміжком між 1607 і 1682 рр. він пояснив можливими збуреннями її руху, обумовленими притяганням планет, мимо яких проходила комета.

Кометою зацікавився французький астроном Алексіс Клод Клеро (1713–1765), який «10-річним хлопчиною вже оволодів обчисленням нескінченно малих,.. не досягнувши 13-річного віку, подав учений мемуар в Академію наук, а у 18 років видав книгу.., чим відкрив собі доступ в Академію» (А. Беррі). У 1753 р. Клеро провів обчислення можливого впливу на комету з боку Сатурна і Юпітера, поблизу яких вона повинна була пройти. У листопаді того ж року він повідомляв Академію, що комета запізниться на 100 діб під впливом Сатурна і ще на 518 діб під впливом Юпітера, і що вона пройде через перигелій близько 13 квітня наступного року, хоча можлива похибка в один або другий бік на один місяць. Клеро писав: «Це сповільнення далеке від того, щоб пошкодити теорії всесвітнього тяжіння, а неминуче впливає з нього...» І справді, 25 грудня 1758 р. її вже зауважив аматор астрономії з Саксонії Георг Палич, а через перигелій вона пройшла рівно за один місяць і один день до строку, вказаного Клеро. Як зауважив А. Паннекук, «це передбачення і передобчислення повернення комети Галлея стало

загальновідомим і справедливо розглядається як триумф теорії тяжіння Ньютона».

Про це ж К. Фламмаріон у своїй книзі «Зоряне небо» (1882) писав: «Астроном Галлей 1705 р. розрахував шлях великої комети 1682 р., призначивши їй повернення 1759 р., «він подумки слідкував за цим мандруючим у глибинах неба світилом, на відстанях сотень мільйонів миль за межами видимого світу,.. одні вважали його безумцем, інші називали нечестивцем і богохульником; сам же він підкорявся всезагальній долі – старів, знесиловався і в свою чергу зійшов у темряву могили... Нарешті, і сама його могила була забута,.. коли одного ясного вечора на горизонті, ще в страшній глибині неба зауважили раптом якесь дивне сяйво... Це була комета Галлея, яка чула його голос у безоднях небес і яка з'явилася тепер на його поклик! Це була астрономічна істина, яка засяяла тепер над забутою могилою свого пророка і провозвісника!»

Відкриття Урана. Музикант Вільям Гершель, переїхавши з Ганновера в Англію 1757 р. і, «проскитавшись декілька років по різних англійських провінціях, поселився, маючи 28 років, у м. Баті,.. невдовзі набув... велику популярність як музикант і як учитель музики.., число його приватних уроків сягало... 35 на тиждень.» Однак, прочитавши посібник з астрономії, «він захотів своїми очима побачити все, що написано в книжках». І, як вже знаємо, почав своїми руками будувати телескопи.

А. Беррі писав: «...він чотири рази, почавши з 1775 р. (кожен раз користуючись інструментом все більшої сили) проводив огляд усього небосхилу, причому всі більш-менш хоч трохи цікаві об'єкти відмічав, а при потребі піддавав уважнішому дослідженню... При другому з цих оглядів, проведеному за допомогою 7-футового телескопа ньютонівського типу, він зробив відкриття (13 березня 1781 р.), яке надало йому всеєвропейське визнання». Гершель писав: «Займаючись дослідженням слабких зір поблизу η Близнят, я зауважив одну, яка видалася мені помітно більшою від інших, вражений її незвичайним виглядом, я... запідозрив у ній комету».

Однак спроби обчислити орбіту цього об'єкта довели, що це не кометна орбіта. Приблизно через чотири місяці російський вчений (швед за походженням) Андерс Йоганн Лексель (1740–1784) встановив, що цей об'єкт є новою, раніше невідомою планетою. Гершель

хотів назвати її іменем англійського короля – «Георгієвою зорею», однак астрономи континенту цієї назви не прийняли. Невдалою була спроба назвати її іменем Гершеля. Врешті-решт, за пропозицією німецького астронома Йоганна Елєрта Боде (1747–1826), їй дано назву Уран. Невдовзі Гершелі переїхали в м. Слоу, сьогодні їхній будинок має назву «Будинок обсерваторії», про який Араго сказав: це «куточок світу, в якому було зроблено найбільше відкриттів...».

Згодом було виявлено, що планету Уран задовго до її формального відкриття вже спостерігали: 23 грудня 1690 р. Джон Флемстід, він же зафіксував її у квітні 1712 р. і в березні–квітні 1715 р. В журналах спостережень 1750–1771 рр. дванадцять разів Уран відмітив француз П'єр Лемоньє (1715–1799), по одному разу – Брэдлей (у 1753 р.) і Майєр (1756 р.), їхні результати також використали для розрахунку орбіти Урана.

Супутники Сиріуса і Проціона. Загально визнано, що Фрідріх Вільгельм Бессель був одним з найвеличніших астрономів-спостерігачів. Зокрема, спостерігаючи упродовж декількох років на меридіанному колі яскраві зорі Сиріус і Проціон, він 1844 р. зробив висновок, що їх власні рухи відбуваються не по прямій, а по хвилястих лініях. Бессель висловив думку, що кожна з цих зір має невидимого супутника.

У 1862 р. американський оптик Алван Кларк, випробовуючи тільки що виготовлений ним об'єктив діаметром 46 см, довів правильність цього припущення, виявивши супутник Сиріуса. Наприкінці століття, 1896 р., американський астроном Джон Мартін Шєберле (1853–1924), працюючи на Лікській обсерваторії, відкрив супутник зорі Проціон.

Супутники Марса. Супутники Марса – Фобос і Деймос – відкрив американський астроном Асаф Холл при випробовуванні тільки що виготовленого Алваном Кларком і його синами 66-см рефрактора. Сталося це під час протистояння Марса у серпні 1877 р., як визнано, завдяки наполегливості його дружини Анжеліни Стікні-Холл: 11 серпня він уперше побачив супутник, згодом названий Деймосом, 17 серпня відкрив Фобоса.

Через десять років Асаф Холл, який, до речі, був за спеціальністю архітектором, писав про це Едуарду Пікерінгу (1846–1919) так: «Шанси виявити супутник здавалися дуже малими, так що я міг би

відмовитися від пошуку, якби не моя дружина, яка наполегливо вселяла в мені віру в успіх».

Третій же з чотирьох синів Холла прямо розповідав, що його мати «настоювала на тому, щоб її чоловік відкрив супутники Марса». Як вже згадано, у Вступі (§ 10), іменем цієї наполегливої жінки названо найбільший кратер на Фобосі.

Варта уваги ця впевненість в існуванні супутників Марса. Багатьом, напевне, було відомо, що в цьому не сумнівався Й. Кеплер. Ось що він писав до Галілея: «Я настільки далекий від сумнівів з приводу відкриття чотирьох планет, які оточують Юпітер, що шалено хочу мати телескоп, щоб по можливості випередити вас у відкритті двох, які обертаються навколо Марса,.. шести чи восьми біля Сатурна, по одному біля Меркурія і Венери». Після того, як Галілей, проспостерігавши кільце Сатурна, але не зумівши встановити його істинну сутність, склав анаграму – зафіксував своє відкриття («найвищу планету спостерігав потрібною») у вигляді набору букв, Кеплер «розшифрував» її так: «Привіт вам, близнята, діти Марса...»

Висловився щодо супутників Марса і Бернар Фонтенель у своїх «Розмірковуваннях про множинність світів» (1636 р.): «Марс не може зазнавати недостачі в місяцях». Але найцікавішим є ось цей текст з книги Джонатана Свіфта (1667–1745) «Мандрі Гуллівера» (1726 р.): «Вчені Лапути відкрили два супутники, що обертаються навколо Марса,.. з яких внутрішній віддалений від центра планети точно на три її діаметри, а зовнішній – на п'ять, перший обертається в просторі за 10 годин, а другий за $21\frac{1}{2}$...»

Як бачимо, астрономи Лапути (тобто Дж. Свіфт) дещо помилилися. Справжня відстань Фобоса і Деймоса від центра Марса (в діаметрах планети) дорівнює відповідно 1,33 і 3,45, а періоди обертання навколо Марса – 7,66 і 30,3 години. Отже, і астрономи Лапути «знали», що за марсіанську добу Фобос здійснює більше двох обертів навколо планети.

Після всього цього, напевне, можна не дивуватися написаному Вольтером у «Мікромегасі» (1752 р.): «Мандрівники побачили б у цієї планети Марс два її місяці, які не були виявлені нашими астрономами...»

МАЛА ПЛАНЕТА ЦЕРЕРА. У 1772 р. німецький астроном Йоганн Даніель Тіціус (1729–1796) виявив, а Йоганн Боде широко популяризував той факт, що розміри планетних орбіт можна представити

у вигляді такого числового ряду: $4; 4 + 3 = 7; 4 + 3 \times 2 = 10; 4 + 3 \times 4 = 16; 4 + 3 \times 16 = 52; 4 + 3 \times 32 = 100; 4 + 3 \times 64 = 196$. Це наближені відстані планет від Сонця, якщо відстань Сонце – Земля прийнято за 10. Як видно, в цьому ряді є пропуск, що відповідає відстані $4 + 3 \times 8 = 28$, або ж, в астрономічних одиницях, – 2,8 а.о.

Виходячи з цього правила, Боде висловив припущення, що між Марсом та Юпітером існує невідома планета. За ініціативою австрійського астронома Франца Цаха (1754–1832) у 1796 р. на астрономічній конференції в м. Готі було вирішено провести її систематичні пошуки. Відкрив же новий об'єкт 1 січня 1801 р. цілком випадково Дж. Піацці.

КАМЕНІ ПАДАЮТЬ З НЕБА. До кінця XVIII ст. різні короткочасні світлові ефекти і явища, які спостерігали на небосхилі, – «падаючі зорі» (метеори), «вогняні кулі» (боліди), «вогні святого Ельма», полярні сйява тощо – вчені, услід за Аристотелем, об'єднували в один клас «вогняних метеорів», вважаючи їх атмосферними явищами. Щоправда, 1714 р. Е.Галлей висловив думку, що боліди – це згустки космічної речовини, які зустрічаються на шляху Землі.

Випадки падання каменів «з неба», знову ж таки услід за Аристотелем, пояснювали ураганами, які переносять камені та інші предмети на величезні відстані. Як зауважили А. Й. Єремеева та Ф. О. Цицин, «з утвердженням ...ньютонівської картини світу... зміцніло уявлення, що між відомими небесними тілами немає нічого, крім порожнього світового простору... Тому природодослідникам у XVIII ст. саме допущення падіння твердих... кам'яних чи залізних брил з неба на Землю здавалося суперечливим з логікою і розумом».

Сказане найкраще ілюструє висновок (1772 р.) Паризької Академії наук: «Камені з неба падати не можуть, оскільки не лише фізично, а й взагалі нічим розумним пояснити це не можна». Хоча в той момент академіки мали перед собою три камені, знайдені після їх падіння 1768 р. Причина «очевидна»: в речовині цих каменів було все те, що зустрічається на Землі. Проте вже 1794 р. німецький учений Ернст Флоренс Фрідріх Хладні (1756–1827), проаналізувавши численні історичні свідчення про падіння гарячих каменів післязгасання боліда, обґрунтував теорію космічної природи метеоритів. Після цього Г. Ольберс, а вслід за ним Лаплас (перший у 1795, другий – 1802 р.) висловилися за те, що метеорити – наслідок вулканічних

вивержень на поверхні Місяця. Ця гіпотеза (її ще 1660 р. висловив Паоло Терцаго), з огляду на авторитет Лапласа, набула широкого розповсюдження у ХІХ ст.

У 1804 р. англійський мінералог В. Томсон (1761–1806) зауважив, а через чотири роки австрійський учений А. Відманштетген (1753–1849) виявив це незалежно, що на протравленій кислотою відполірованої поверхні залізного метеорита з'являються системи поздовжніх та поперечних смуг. Однак детальне вивчення як залізних, так і кам'яних метеоритів розпочалося вже у ХХ ст.

Розділ 15. ПРОБЛЕМИ НЕБЕСНОЇ МЕХАНІКИ

У найпростішому випадку рух планети навколо Сонця розглядається як (скажемо тепер – класична) *задача двох тіл*: як рух матеріальної точки навколо силового центра. Насправді, однак, ситуація є значно складнішою, бо планети гравітаційно взаємодіють одна з одною і при розгляді їхнього руху доводиться враховувати відповідні збурювальні (пертурбаційні) сили і говорити про *збурений рух*. Внаслідок цього, якщо такий рух матеріальної точки, наприклад Місяця навколо Землі, і відбувається по еліптичній орбіті, то це орбіта *оскулююча*, параметри якої – розміри, форма, положення у просторі – неперервно змінюються.

Протягом майже 200 років головним завданням небесної механіки і було обчислення збурень у русі великих планет і Місяця. Одна з проблем, що тут виникала, була проблема стійкості Сонячної системи. Усе це було своєрідним викликом Природи людському розуму. І тепер, оглядаючись назад, констатуємо, що цей виклик було прийнято: добрий десяток астрономів-теоретиків, виявляючи свій талант і дивовижну винахідливість, крок за кроком наближалися до повного з'ясування усіх проблем небесної механіки. І – аж так далеко, що їм серед великих чисел, якими описується збурення, скажімо планети Меркурій, вдалося виявити невеличку розбіжність, що стала сигналом: можливості класичної теорії вичерпано, необхідна загальніша теорія, якою і стала загальна теорія відносності.

Як у попередньому розділі не було змоги перелічити всіх тих, хто докладав зусиль до як найточнішого встановлення координат зір, планет і їх супутників (передусім Місяця), так і тут згадано

найголовніші праці обмеженого числа теоретиків. Повніше їхні імена і наукові здобутки перелічено у праці А. Беррі (1946).

§ 1. ЗАДАЧА ДЕКІЛЬКОХ ТІЛ

У цей період ішлося, як правило, про задачу трьох тіл, наприклад, «Земля–Місяць–Сонце» чи «Юпітер–Сатурн–Сонце». Тому передусім доцільно згадати хоча б коротко тих найвидатніших математиків, завдяки зусиллям яких отримано як певні загальні розв'язки, так і їхнє конкретне застосування в масштабах Сонячної системи.

ДЕВ'ЯТЬ НАЙВИДАТНІШИХ ІМЕН. Відзначимо тут принаймні декілька імен, що золотими літерами вписані в історію науки взагалі, астрономії передовсім...

Леонард Ейлер (1707–1783) народився в Базелі (Швейцарія) в сім'ї протестантського пастора, математику вивчав під керівництвом Якова та Йоганна Бернуллі, за протекцією цього другого, 1727 р. був запрошений в Петербурзьку Академію наук з обов'язком «розвивати і підтримувати науку». У 1741 р. на 25 років він виїхав у Берлін, 1766 р. повернувся до Петербурга. У 1735 р. він осліп на одне око, і це нещастя «викликало в нього лише зауваження, що тепер він менше буде відвертати увагу від математики»; невдовзі після повернення в Росію він осліп і на друге око. ...Але ця обставина мало впливала на дивовижно багату наукову діяльність Ейлера; і лише після 17 років сліпоти, внаслідок апоплексичного удару, він «перестав жити й обчислювати» (А. Беррі). Наприклад, лише за один 1777 рік він підготував понад 100 статей. Загальний же список його праць налічує близько 350 назв, а повне зібрання творів мало б скласти 72 томи.

Не було такої ділянки сучасної йому математики, в якій би Ейлер не отримав певних результатів. Зокрема, він зробив істотний внесок у теорію збуреного руху, розробив теорію руху Місяця, яку виклав у книжці «Теорія руху Місяця, трактована новим методом...» (1753 р.), де було запропоновано обчислювальні методи для отримання ефемерид Місяця і планет.

Жан Лерон Д'Аламбер (1717–1783) був знайдений на східцях церкви св. Жан-ле-Рона в Парижі, але згодом визнаний і частково вихований своїм батьком. Отримав прекрасну освіту у школі, далі вивчав право і медицину, але «згодом віддався математиці». У 1743 р.

сформулював «принцип Д'Аламбера», у 1749 р. написав працю про прецесію і нутацію, з 1784 р. – член Французької Академії. Розвинув теорію збурення руху планет, запропонував свою теорію руху Місяця.

Йозеф Луї Лагранж (1736–1813) народився в Туріні (Італія), дуже рано виявив математичні здібності і в віці 19 років став професором математики в артилерійській школі Туріна. В 1759 р. обраний членом, а 1766–1787 рр. був президентом Берлінської Академії наук. З 1787 р. працював у Парижі.

Лагранж розвинув і довів до досконалості запропонований Л. Ейлером метод варіації змінних, що є одним із найважливіших у небесній механіці. У 1772 р., розглядаючи обмежену задачу трьох тіл, отримав два варіанти розв'язку (див. далі). У 1776 р. узагальнив теорему Лапласа про стійкість Сонячної системи, довівши її справедливості і для ексцентриситетів та нахилів орбіт. У 1732 р. створив теорію вікових змін орбіт планет; показав, що ці зміни насправді є періодичними, з дуже великими періодами.

П'єр Симон Лаплас (1749–1827) народився в містечку Бомон (Нормандія) в родині дрібного фермера. У 1766 р. приїхав у Париж, зацікавивши Д'Аламбера своїм листом про принципи механіки. Був професором Нормальної, а також Політехнічної школи, у 1790 р. обраний головою Палати мір і ваги, керував запровадженням нової метричної системи мір у практику. Наполеон дарував йому титул графа, після реставрації Бурбонів Лаплас став маркізом. Як зауважив А. Беррі, «його передсмертні слова – «Те, що ми знаємо, нікчемно мале, а чого не знаємо – незбагненне велике» – які вийшли з уст людини, що так багато внесла в науку, виявляють його особу у вигіднішому світлі, ніж події його кар'єри...»

Варте уваги, що саме Лаплас увів термін «небесна механіка» у 1798 р.

У великому п'ятитомному «Трактаті про небесну механіку» (1798–1825 рр.) Лаплас, зокрема, довів, що закон всесвітнього тяжіння є достатнім для пояснення і передбачення руху тіл Сонячної системи. Він представив збурення математичними рядами і довів їхню періодичність. Великою заслугою Лапласа було відкриття причини прискорення руху Місяця. Він показав, що середня швидкість геоцентричного руху Місяця залежить від ексцентриситету земної орбіти, який, у свою чергу, змінюється під дією планетних збурень. Лаплас довів стійкість Сонячної системи, також – висловив гіпотезу

про виникнення Сонячної системи з газової туманності, що оберталася (у примітці до книги «Виклад системи світу», 1796 р.).

Карл Фрідріх Гаусс (1777–1855) народився у Брауншвейзі в сім'ї бідного водопровідника. Навчався й усе життя працював у Геттінгенському університеті (з 1807 по 1855 рр. – директором обсерваторії).

Світове визнання Гаусс здобув після розробки ним методу обчислення еліптичної орбіти планети за трьома спостереженнями. У 1809 р. опублікована його «Теорія руху небесних тіл», з якій викладено методи обчислення планетних орбіт (їх з невеликими удосконаленнями використовують і тепер). У 1823 р. Гаусс розробив спосіб найменших квадратів і сформулював головні принципи теорії похибок.

Саймон Ньюком (1885–1909) народився в Уоллесі (Канада), у 1853 р. переїхав до США, навчався у Гарвардському університеті (заклучний рік, до того навчався самотужки). Був співробітником Морської обсерваторії у Вашингтоні (1861–1877 рр.), очолював обчислювальне бюро «Американського морського щорічника» (1877–1897 рр.).

Ньюком провів фундаментальне дослідження руху планет. Найдостовірніше визначив заново всі астрономічні сталі, якими описується рух Землі і планет, склав надзвичайно точні таблиці руху чотирьох найближчих до Сонця планет. Ньюком істотно удосконалив теорію руху Місяця. Для цього він зібрав та опрацював усі спостереження Місяця, почавши з найдавніших часів. Був талановитим популяризатором астрономії.

Карл Зундман (1873–1949) – фінський математик, який 1912 р. знайшов теоретичний розв'язок задачі трьох тіл у вигляді нескінченних рядів, що збігаються дуже повільно. Як з'ясовано, для забезпечення потрібної в астрономії точності довелося б брати таку кількість членів, у якій загалом налічувалося б близько 8 млн. значущих цифр. Звичайно, формули Зундмана поки що практичного значення не мають, але важливим є сам факт отримання цього розв'язку.

Якщо йдеться про удосконалення таблиць руху Місяця, то аж ніяк не можна не згадати ще два імені. Це **Петер Андреас Ганзен** (1795–1874), німецький астроном, за походженням датчанин, з 1825 по 1874 р. – директор обсерваторії у Зебергу поблизу Готи. Ганзен уточнив теорію руху Місяця, теорію збуреного руху великих і малих

планет та комет. У 1857 р. склав таблиці руху Місяця, що відзначалися винятково високою точністю (похибка не перевищувала 2"). Їх використовували при складанні астрономічних щорічників до ХХ ст. Це, нарешті, *Ернест Уїльям Браун* (1866–1938), американський астроном (народився в Халлі, Йоркшир, Англія), закінчив 1867 р. Кембридзький університет, з 1907 р. – професор Йельського університету. Браун побудував нову аналітичну теорію руху Місяця, а 1919 р. обчислив нові таблиці руху Місяця, які використовують і тепер.

Три типи нерівностей. Як відомо, для передобчислення положення планети (та й супутника планети, зокрема Місяця, зі зміною відповідно центра тяжіння) на декілька днів чи років наперед (для складання її ефемерид) необхідно знати такі елементи її орбіти: 1) велику піввісь a , 2) ексцентриситет e (цим визначають розміри і форму орбіти); далі, 3) нахил i площини орбіти до площини екліптики, 4) кутову відстань ϱ від точки весняного рівнодення до висхідного вузла, тобто до точки, в якій планета перетинає площину екліптики, рухаючись до Північного полюса світу, це – довгота висхідного вузла (цим визначають положення площини орбіти у просторі); необхідно знати і положення орбіти в її площині, тобто 5) кутову відстань ω перигелія від висхідного вузла, або довготу перигелія (рис. 4. 2). І, нарешті, задають 6) момент проходження планети через перигелій t_0 . Як вже згадано, метод визначення елементів орбіт за декількома (не менше трьох) спостереженнями найповніше розробив К. Гаусс.

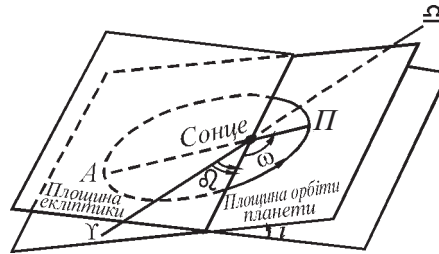


Рис. 4. 2. Елементи планетної орбіти.

Для оцінки відхилень моментів орбіт від їхніх початкових значень Ейлер використав метод представлення кожного з параметрів орбіти планети Π у вигляді ряду

$$\Pi = \Pi_0 + \mu \Pi_1(t) + \mu^2 \Pi_2(t) + \dots + \mu^n \Pi_n(t) + \dots$$

де μ – маса збурюючої планети, виміряна в масах Сонця. Малі доданки $\mu \Pi_1(t)$ є збуреннями першого порядку, доданки $\mu^2 \Pi_2(t)$ – збуреннями другого порядку і т. д., тут t – час.

Як показав аналіз, функції $\mu^n \Pi_n(t)$ мають складну структуру і складаються з доданків трьох типів: 1) $\mu^n A_n(t) \sin v_n t$ (A_n і v_n – сталі),

2) $\mu^n B_n t^n$ (B_n – стала) і 3) $\mu^n C_n t^n \sin v_n t$ (C_n і v_n – сталі). Члени першого типу зветься *періодичними нерівностями*, другого типу – *віковими нерівностями* і третього типу – *змішаними нерівностями*. Якщо при цьому v_n – мала величина, то період $T = \frac{2\pi}{v_n}$ буде дуже великим, і таке збурення (нерівність) зветься *довгоперіодичним*.

«**ПРОРИВ КРИЗЬ ХАЦІ**». Ситуацію, що склалася з задачею трьох тіл на початку XVIII ст. і в наступні десятиліття, охарактеризував А. Паннекук так: «Математики XVIII ст., які вперше зіткнулися з цією задачею, вважали задачу трьох тіл нерозв’язною прямим шляхом. Це положення зберігається і сьогодні. Розчарування математиків звучить у скарзі найобдарованішого із них, Алексіса Клеро: «...Нехай тепер інтегрує, хто може... Я спочатку вивів наведені тут рівняння, але не докладав багато зусиль для їх розв’язування, оскільки вони здаються мені такими, що дуже погано піддаються опрацюванню. Може, іншим вони здадуться більш багатообіцяючими. Я їх дав і запропонував використати метод наближень». Геніальний Леонард Ейлер у своїй передмові до останньої частини об’ємної праці про теорію Місяця писав: «За останні 40 років я часто намагався вивести теорію руху Місяця з принципів тяжіння, але зустрічався з так багатьма труднощами, що мені доводилося переривати свою працю і далші дослідження. Проблема зводиться до трьох диференціальних рівнянь другого порядку, які не тільки не інтегруються, а й при використанні методу наближень, яким нам доведеться задовольнитися, ведуть до найвищих труднощів, так що я не бачу, як з одної лише теорії можна зробити висновок – придатна вона для чого-небудь корисного, чи ні...»

Те, що піонери в царині небесної механіки приймали за печальну необхідність, виявилось єдиним, щоправда, складним і трудним, але все ж найзагальнішим методом розв’язування таких задач. Спочатку сили і прискорення обчислювали для випадку відомої незбуреної орбіти. Інтегруванням звідси виводили відхилення в положенні для першого моменту. Завдяки цим відхиленням у положенні притягваної планети сили і прискорення змінюються на малу величину (малу відносно першого значення), і це веде до нових, ще менших відхилень... другого порядку. Застосовуючи таким чином далші наближення, все ближче підходили до кінцевого результату. Оскільки

в перший момент збурюючі сили змінюються досить неправильно за величиною і напрямом зі зміною відносного положення планет, то ці сили представляли у вигляді ряду періодичних членів («збурюючих членів»), які однаково залежать від довготи, аномалії, вузлів і широт обох тіл, як збуреного, так і збурюючого. Члени вищого порядку впливають один на одного, тому повне обчислення їх усіх є майже безнадійною і нездійсненною задачею, для розв'язання якої в той час були б потрібні роки праці; навіть пізніше, при сприятливіших можливостях, вона забрала б все людське життя, повне напруженої ретельної праці. Все ж це не було спокійним, безстрасним обчисленням за такими формулами, які сьогодні дають у підручниках. Це був пошук, що рвався вперед у невідомій країні теорії, прорив крізь хащі, повний пригод і найчастіше пов'язаний з практичними проблемами. При цьому завжди вивчалася питання: Чи можна обчислити за законом Ньютона всі фактичні рухи? Чи є цей закон точним та універсальним, що пояснює всі спостережувані явища?».

У 1887 р. німецький астроном Г. Е. Брунс (1848–1919) строго довів, що задача трьох тіл не може бути розв'язана у скінченному вигляді. Через два роки це підтвердив французький астроном і математик Анрі Пуанкаре (1854–1912).

Уточнити закон? Зіставляючи теоретичні обрахунки положень небесних тіл – Місяця і планет Сонячної системи – з результатами їх спостережень, астрономи виявляли певні розбіжності. Тому у XVIII та XIX ст. були здійснені спроби «уточнити» закон тяжіння Ньютона. Так, Алексіс Клеро, досліджуючи рух перигею місячної орбіти, запропонував замінити закон всесвітнього тяжіння таким:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \left(1 + \frac{\alpha}{r^n}\right),$$

де α – деяка стала, а показник степеня $n = 1$ або $n = 2$. Проте згодом Клеро відмовився від цих ідей, оскільки спостереження Місяця, що були в його розпорядженні, виявилися неточними.

Згодом, у 1825 р., П'єр Лаплас запропонував інакшу формулу закону тяжіння, а саме

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} e^{-hr},$$

де h – деяка додатна стала. Проте ця формула виявилася цілком непридатною для опису руху перигеліїв планет і перигею Місяця за однакового значення параметра h .

У 1894 р. Асаф Холл спробував прийняти закон всесвітнього тяжіння у вигляді:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{z^{2+\sigma}},$$

де σ – дуже мала поправка. При складанні таблиць руху планет на початку ХХ ст. було взято $\sigma = 0,0000001612$. Виявилося, однак, що такий закон не суперечить теорії руху Місяця лише у випадку, якщо $\sigma > 0,0000004$. Інакше кажучи, задовільно представити рух планет і Місяця за допомогою одної формули такого типу не вдавалося.

І вже в середині ХХ ст. А. Фінзі (Англія), розглядаючи проблему стійкості скупчень галактик (1963 р.), висунув гіпотезу, за якою на міжгалактичних відстанях сила гравітаційної взаємодії змінюється з відстанню r за законом

$$F = \frac{Gm_1m_2}{\rho^2} \left(1 + \frac{\rho}{z}\right)^{3/2},$$

де ρ – характерна довжина, яку він прийняв рівною 1500 світлових років.

Часткові розв'язки. Розглядаючи задачу трьох тіл, Л. Ейлер виявив, що їхній рух може бути стійким та зберігатися подібним до себе, якщо ці тіла в початковий момент перебували на одній прямій (це випадок трьох *колінеарних* точок) і якщо в них на цей момент було певне співвідношення взаємних відстаней, що залежить від їх мас та певні швидкості. Конкретно, в системі Сонце – Земля третє тіло, яке має дуже малу масу, може перебувати в колінеарних точках Лагранжа L_1, L_2 або L_3 так, що відстані цих точок від Сонця дорівнюють (в а. о.) відповідно 0,9899, 1,0101 та $1 - 0,00000178$. Інакше кажучи, точки L_1 і L_2 знаходяться на відстані 1,5 млн. км від Землі. У системі Земля–Місяць відстань точки L_1 від Місяця є 57 600 км, точки L_2 – 63 300 км (рис. 4. 3).

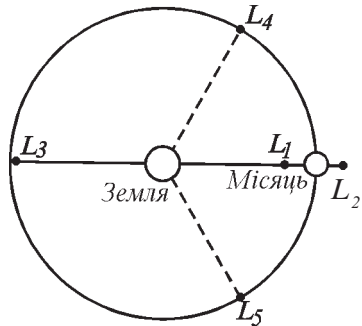


Рис. 4. 3. Точки лібрації в системі Земля–Місяць.

У 1778 р. Ж. Лагранж показав, що рух трьох тіл буде стійким і в тому випадку, якщо вони в початковий момент розташовані у вершинах рівностороннього трикутника і якщо вони мають цілком певні за величиною та за напрямками швидкості. Цей трикутник періодично пульсує, обертаючись навколо центра мас трьох гравітуючих точок. У випадку, коли

відносні початкові швидкості дорівнюють нулю, трикутник зберігає свої розміри, це – трикутний (*тригональний*) лібраційний розв’язок. На початку ХХ ст. було виявлено, що цей розв’язок «реалізується» у Сонячній системі: по орбіті Юпітера попереду і позаду нього на 60° рухаються дві групи малих планет – «греки» і «тroyанці», назви яких взяті з «Іліади». Можна твердити, що вони перебувають у тригональних лібраційних точках, відповідно L_4 та L_5 .

У 1836 р. німецький математик Карл Якобі (1804–1851), а двома роками пізніше французький астроном Едуард Рош (1820–1883) розробили теорію руху частинок у системі з двома центрами тяжіння. Одним із наслідків розв’язку цієї задачі є поняття про *поверхню Роша*. По такій поверхні рівного потенціалу, що охоплює обидві маси у вигляді пісочного годинника і утворює в перерізі вісімку, ковзає пробна частинка, якщо лише вона у початковий момент отримала певну (за величиною і напрямом) швидкість. Простір, охоплений цією поверхнею, названо *порожнинею Роша* (рис. 4. 4).

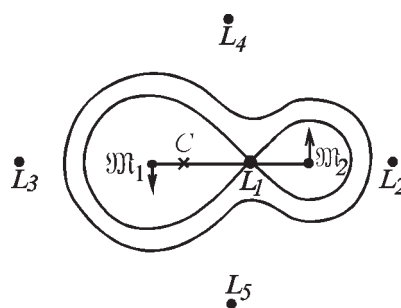


Рис. 4. 4. Перетин поверхонь рівного потенціалу площиною, в якій відбувається обертання тіл з масами m_1 і m_2 навколо спільного центра мас C ; вказано положення точок Лагранжа L_1 – L_5 ; простір, що у формі вісімки охоплює обидві маси, – порожнина Роша.

Ці поняття отримали належну оцінку в середині ХХ ст., коли було встановлено, що як тільки в процесі еволюції подвійної системи зір більш масивна зоря, розширюючись, заповнює свою порожнину Роша, через внутрішню точку Лагранжа L_1 розпочинається «спливання» речовини цієї зорі до її супутника.

Е. Рош отримав ще один важливий розв’язок: він встановив існування *межі Роша* – такої відстані від гравітуючої маси (конкретно – планети), ближче якої її супутник (газоподібний або рідкий!) не може існувати, а буде розірваний на частини припливними силами. Зокрема, якщо планета та її супутник мають однакову щільність, то ця відстань дорівнює 2,46 радіуса планети. Варте уваги, що кільце Сатурна розташоване всередині межі Роша цієї планети.

СТІЙКІСТЬ ПЛАНЕТНОЇ СИСТЕМИ. У 1784 р. П.Лаплас опублікував дві теореми про стійкість планетної системи:

1. Якщо масу кожної планети m_k помножити на квадратний корінь з великої півосі її орбіти a_k і на квадрат ексцентриситету, то сума таких добутків після усунення періодичних членів (див. вище) є величиною сталою:

$$m_1 e_1^2 \sqrt{a_1} + m_2 e_2^2 \sqrt{a_2} + \dots + m_n e_n^2 \sqrt{a_n} = \text{const.}$$

2. Якщо масу кожної планети m_k помножити на квадратний корінь з великої півосі її орбіти a_k і на квадрат тангенса нахилу i_k , то сума цих добутків для всіх планет після усунення періодичних нерівностей є величиною сталою:

$$m_1 \sqrt{a_1} \text{tg}^2 i_1 + m_2 \sqrt{a_2} \text{tg}^2 i_2 + \dots + m_n \sqrt{a_n} \text{tg} i_n = \text{const.}$$

Звідси випливає, що коли ексцентриситет однієї орбіти збільшується, то ексцентриситет іншої повинен зменшуватися. Це стосується і нахилів орбіт i .

Після відкриття Нептуна і Плутона, уточнення орбіти Урана, мас Марса, Венери і Меркурія (цих двох – за збуреннями в русі деяких малих планет, які до них наближуються на відносно невеликі відстані) питання про стійкість планетної системи неодноразово переглядалося. Строго кажучи, точної відповіді на нього немає і сьогодні, але імовірність стійкості Сонячної системи дуже велика. Зокрема, з обчислень випливає, що ексцентриситет земної орбіти e_{\oplus} може змінюватися від нуля до 0,067735, а найбільше значення амплітуди нахилу земної орбіти – $3^{\circ}6'0''$.

§ 2. Особливості руху Місяця

Чотири класичні нерівності. Вже Гіппарх з точністю до п'ятого знака після коми визначив середні характеристики руху Місяця – синодичний, аномалістичний, сидеричний і драконічний місяці, як також період обертання перигею і період обертання вузла місячної орбіти. Це давало змогу обчислити середню добову кутову швидкість руху Місяця відносно зір і Сонця, руху перигею і вузла. Як виявив Ньютон, саме ці чотири величини і необхідні для побудови динамічної теорії руху Місяця.

Але вже Гіппарх (і тим більше Птолемей) знав, що насправді на цей середній рух накладаються певні нерівномірності, або нерівності. За Птолемеєм, якщо λ – середня довгота Місяця, то загальна нерівність E , яку треба додати до λ , щоб отримати справжню довготу Місяця, має вигляд (у звичному для нас записі):

$$E = 6^{\circ}15' \sin l + 1^{\circ}18' \sin (2D - l) + 19' \sin 2l.$$

Тут l – *середня аномалія* Місяця (кут, відлічений від напрямку «середній місяць – еквант» за годинниковою стрілкою до положення Місяця на епіциклі), D – елонгація Місяця від Сонця.

Перший з доданків у виразі для E має назву *головної еліптичної нерівності*, або *рівняння центра*. Період його аргумента – середньої аномалії l – дорівнює середньому аномалістичному місяцеві (27,55 доби). Він, як і третій доданок, пов'язаний з еліптичністю місячної орбіти. Другий доданок з аргументом $2D - l$ був уперше знайдений і введений у теорію руху Місяця Птолемеєм, який називав його «погойдуванням» місячного апогею. У 1634 р. французький астроном Ісмаель Булліальд (Бульо, 1605–1694) запропонував для цієї нерівності назву *евекція* (що з латинської і означає «погойдування»).

Евекція полягає в періодичній зміні форми місячної орбіти. Ексцентриситет орбіти зростає, коли лінія апсид спрямована на Сонце, і зменшується, коли вона утворює з ним прямиий кут. Період евекції – 31,81 доби.

Історично склалося так, що Гіппарх зі спостережень місячних затемнень виявив *першу*, або *просту*, нерівність: у повню або при новому місяці, тобто в момент сизигії, при $D = 0^{\circ}$ або 180° , $E = 4^{\circ}57' \sin l + 19' \sin 2l$. Птолемеєм же, визначаючи положення Місяця в квадратурах (перша і остання чверть, $D = \pm 90^{\circ}$), отримав для відхилення справжнього Місяця від середнього $E = 7^{\circ}33' \sin l + 19' \sin 2l$. Отже при переході Місяця від сизигії до квадратури і далі до наступної сизигії, тобто двічі за синодичний місяць, амплітуда першої нерівності спочатку зростає, а потім зменшується на $2^{\circ}36'$, причому ці зміни амплітуди не залежать від положення перигею Місяця. Птолемеєм і сприйняв це півмісячне коливання амплітуди першої нерівності як *другу нерівність* у русі Місяця.

І вже майже через 1500 років Тіхо Браге, провівши тривалі спостереження Місяця (з похибкою до $\pm 0,5'$), виявив, що при проходженні половини дуги між сизигіями і квадратурами Місяць відхиляється від теоретично обчислених положень, причому амплітуда цієї *третьої нерівності* мала б становити $40,5'$. Тіхо Браге ввів її безпосередньо у вираз для E у вигляді доданка $40,5' \sin 2D$. Як видно, третя нерівність зникає в сизигіях і квадратурах (і, отже, її не можна було виявити при спостереженнях затемнень), а досягає найбільшого

значення в октантах, тобто при $d = \pm 45^\circ$ і $\pm 135^\circ$. Ця так звана *варіація* Місяця відіграє важливу роль у теорії руху Місяця.

Крім цього, Тіхо Браге виявив ще й *четверту*, так звану *річну* нерівність Місяця. Він встановив, що довгота Місяця менша за теоретичну, доки Земля рухається від перигелію до афелію своєї орбіти (січень – липень), і перевищує теоретичну в наступні шість місяців. Отже до загальної нерівності E Браге додав член $-4,5' \sin l'$ (l' – середня аномалія Сонця, відлічена від «сонячного перигею», оскільки Браге вважав, що Сонце рухається навколо Землі, фактично це відлік довготи Сонця від перигелію, який Земля проходить 2–3 січня). Зразу ж Й. Кеплер уточнив амплітуду річної нерівності, подавши для неї значення $-11,0'$ (сучасна її теоретична величина $11' 10''$). Цю неточність, допущену Тіхо, Кеплер виявив, обчислюючи моменти настання сонячних і місячних затемнень та порівнюючи свої обчислення з результатами спостережень. Зокрема, Кеплер зауважив, що сонячне затемнення 7 березня 1598 р. і місячне затемнення 30 лютого того ж року настали понад годину пізніше, ніж було вказано в його календарі, а місячне затемнення 16 серпня того ж року – на стільки ж раніше.

Як зауважив Н. І. Ідельсон (1975), на четвертій нерівності фактично і закінчився процес їх емпіричного виділення зі спостережень в доньютонівській астрономії.

Однак Тіхо Браге зробив ще деякі відкриття, які повинна пояснити адекватна теорія руху Місяця. Аналізуючи свої спостереження, Браге виявив, що нахил місячної орбіти до екліптики відхиляється на $\pm 9,5'$ від середнього (рівного $5^\circ 8'$), причому найменше значення нахилу досягається тоді, коли вузли місячної орбіти є в квадратурах, а найбільше – коли напрями на Сонце і на один із вузлів збігаються (вузли в сизигіях). Період цього коливання нахилу дорівнює половині драконічного року, тобто 173,31 доби. Далі, Браге виявив, що сам рух лінії місячних вузлів є нерівномірним. Протягом тих же 173,31 доби між сизигією і наступною квадратурою вузли відходять уперед від їхніх середніх положень і відстають між квадратурою і сизигією, найбільше значення цього відхилення становить $1^\circ 46'$. При місячних затемненнях Місяць проходить через вузол і перебуває у протистоянні з Сонцем, яке також перебуває у вузлі. Тому нерівність вузлів стає рівною нулю, і давні астрономи, які будували теорію

руху Місяця за спостереженнями місячних затемнень, цих коливань вузлів виявити не могли. І, нарешті, Браге відкрив нерівність широти – *евекцію по широті*, тобто коливання широти Місяця з амплітудою $9,5'$ (справжнє значення $10'42''$) і періодом 32,36 доби.

Варто згадати, що вже давнім астрономам було відоме коливання в русі перигею, амплітуда якого сягає 13° .

Рух Місяця за Ньютоном. В середньому збурююче прискорення, надане Місяцеві від Сонця, у 357 (у фазі нового місяця – в 90) разів менше від того, яке він має завдяки притяганню Землею. Це збурююче прискорення безперервно і досить швидко змінюється як за величиною, так і за напрямом. Проте Ньютон в поясненні особливостей руху Місяця добився неабияких успіхів, пояснивши передусім всі чотири класичні нерівності.

Так, головний еліптичний доданок обумовлений еліптичністю місячної орбіти. Причина евеції полягає в тому, що Місяць у фазі нового місяця перебуває ближче до Сонця, ніж Земля, і Сонце, притягуючи його сильніше, наче намагається віддалити від Землі. Те ж – у повню, коли Земля ближче до Сонця. У квадратурах же дія Сонця призводить до їх зближення. Завдяки евеції орбіта Місяця витягується в напрямі до Сонця; ексцентриситет орбіти періодично змінюється. Варіація відбувається внаслідок зміни швидкості руху Місяця по орбіті, обумовленої притяганням Сонця. Завдяки варіації орбіта Місяця безперервно деформується. Річна нерівність пов'язана з тим, що Земля рухається навколо Сонця по еліптичній орбіті.

Отримав Ньютон і рух вузлів місячної орбіти, і відкрити Браге нерівність у цьому русі. Однак розглядаючи рух лінії апсид, тобто зміщення перигею місячної орбіти, він отримав зміщення 20° за рік, тоді як дані спостережень, підтверджені багаторазово за майже 1800 років, від часів Гіппарха, говорять про число 40° . І лише наприкінці XIX ст. в рукописах Ньютона було знайдено правильний результат, однак розвиток теорії руху Місяця в XVIII–XIX ст. відбувався без знання методу, яким скористався Ньютон для його отримання.

Пошук тривав два століття. Одним із перших математиків, хто зважився продовжити дослідження особливостей руху Місяця, був Алексіс Клод Клеро. Його якраз найбільше притягало дослідження тої нерівності, «яка отримала в Ньютона найтемніший розвиток, – саме рух місячного перигею».

Однак ні Клеро, ні Жан Д'Аламбер не отримали нічого нового для з'ясування цього питання. Створювалося враження, що закон тяжіння Ньютона не в змозі пояснити рух місячного перигею. Тоді-то Клеро і запропонував доповнити закон ще одним доданком (*див. вище*). Те ж, незалежно від Клеро, заявив і Д'Аламбер: «Місяць притягується до Землі ще іншою, невеликою за величиною силою, що діє не за законом оберненої пропорційності квадратам відстаней».

Проти цього своєрідного спотворення закону тяжіння виступив французький природодослідник, перекладач праць Ньютона Жорж Бюффон (1707–1783): «кожний фізичний закон лише тому є законом, що його вираз є неповторним і простим». Через чотири роки (1752 р.) Клеро представив свою працю Петербурзькій академії наук, що оголосила конкурс, «...якою має бути істинна теорія усіх цих нерівностей, щоб за нею можна було з усією точністю визначити місце Місяця на будь-який час». На цей раз результат був очікуваний. Задача про рух перигею Місяця була розв'язана, як тільки Клеро, отримуючи розв'язок у вигляді ряду, врахував не три–чотири, а більше членів (зокрема, що стосується довготи, то взято до уваги 20 нерівностей). Три теорії місячного руху (1753 р. – два варіанти і 1772 р.) розробив Леонард Ейлер. У другій з них він, зокрема, вперше застосував до задачі про рух Місяця метод варіації довільних сталих. За першою з теорій Ейлера Т. Майєр обчислив таблиці положень Місяця, похибка яких не перевищувала $\pm 1,5'$. Ці таблиці вживали для складання астрономічних щорічників до 1823 р.

Варте уваги, що Т. Майєр вдало поєднав теорію Ейлера з даними спостережень: нерівності беруть з теорії, амплітуду ж кожного відомого відхилення – зі спостережень. Обмежився Майєр 14 членами ряду. Помилка його таблиць в $1'$ при використанні їх для встановлення довготи корабля в морі давала похибку в $27'$, тобто в 27 морських миль.

І хоча практичні потреби мореплавання певною мірою були розв'язані, то все ж астрономи стояли перед дуже складною і загадковою проблемою. Бо ще 1693 р. Е. Галлей, порівнюючи дані про затемнення з античних та арабських джерел, з сучасними, встановив, що період обертання Місяця навколо Землі зменшується. Інакше кажучи, як це підтвердив Т. Майєр, існує «вікове прискорення» Місяця, для якого він знайшов величину $6,7''$ за сто років. За результатами

точних спостережень Місяця протягом XVIII ст. це вікове прискорення мало б сягати $10''$.

У 1770 р. Паризька академія наук оголосила конкурс на краще пояснення цього питання. Л. Ейлер тоді зробив висновок, що «вікові нерівності місячного руху не можуть бути обумовлені силами тяжіння». Він намагався пояснити їх гальмуванням Місяця міжпланетним середовищем. Зазнав невдачі і Лагранж. Але П. Лаплас 1783 р. виявив причину цього явища: вікове прискорення руху Місяця відбувається тому, що під впливом інших планет відбувається вікове зменшення ексцентриситету земної орбіти (не можна не звернути увагу на все зростаючу точність і спостережень, і обчислень, адже йдеться про ефект – збільшення довготи Місяця на $10,2''$ за сто років, тобто майже через 1300 повних його обертів навколо Землі). Щоправда, через наступні 80 років було з'ясовано, що лише частина вікового прискорення Місяця пояснюється згаданою причиною...

Лапласу вдалося розвинути теорію руху Місяця, за якою його положення визначались з похибкою до $0,5'$. Доданки, якими в цій теорії описували зміни довгот апогею та вузла, виявилися залежними від величини сплюснутості Землі. Ще один доданок, що спричинює «паралактичну нерівність» з амплітудою близько $2'$, залежить від відношення відстаней Сонця і Місяця від Землі. З цього приводу Лаплас у «Викладі системи світу» (1796 р.) писав: «Це чудово, що астроном, не залишаючи своєї обсерваторії, а лише порівнявши спостереження Місяця з даними математичного аналізу, може вивести точну величину і форму Землі, і її відстань від Сонця і Місяця, для чого раніше були необхідні важкі й тривалі мандрівки». І справді, Лаплас, маючи результати спостережень і користуючись розвинутою ним теорією, знайшов сплюснутість Землі рівною $1/305$, а паралакс Сонця $8,6''$.

При виведенні виразу для істинної довготи Місяця Лаплас включав члени до третього порядку в ексцентриситеті та нахилі площини місячної орбіти. У 1857 р. Ганзен уточнив теорію руху Місяця з урахуванням членів восьмого порядку. Як вже було згадано, розбіжність між теорією та спостереженнями за сто років (1750–1850) не перевищувала $2''$. На складання цих таблиць Ганзен затратив 20 років важкої праці.

Тоді ж англійський астроном Джон Кауч Адамс (1819–1892) переконливо показав, що Лаплас помилився: лише $5,7''$ у прискоренні

Місяця можна пояснити зменшенням ексцентриситету Землі. Нарешті, 1865 р. французький астроном Шарль Ежен Делоне (1816–1872) знайшов відповідь: решта секунд у віковому прискоренні Місяця – це не що інше, як наслідок сповільнення обертання Землі, обумовленого припливним тертям, тобто тертям припливної хвилі, що біжить услід за Місяцем, у морське дно та шарів води один з одним. Невдовзі англійський астроном і математик Джордж Хауерд Дарвін (1845–1912) провів відповідні обчислення, що підтвердили сказане.

Згаданий Делоне, затративши 20 років напруженої праці, розробив найточнішу аналітичну теорію руху Місяця. В її основі – варіації довільних сталих і повторення так званих *операцій Делоне*: певна послідовність алгебраїчних операцій з багатьма повторними підстановками. Для полегшення обчислень він замінив звичайні кеплерівські елементи орбіти на так звані канонічні елементи Делоне. Завдяки цьому він провів роботу, яка визнається неймовірною для одної людини. Досить сказати, що розклад довготи Місяця в теорії Делоне налічує 479 періодичних членів нерівностей, широти – 436 нерівностей. Вже в XX ст. метод Делоне виявився придатним для побудови сучасної аналітичної теорії руху Місяця за допомогою ЕОМ, яка не лише розраховує рух Місяця за готовими формулами, а й складає їх за певним алгоритмом, чітко встановленим у теорії Делоне (В. О. Бронштен, 1990).

У 1875 р. розбіжності між таблицями Ганзена і спостереженнями Місяця досягли 8". Дослідженням цього питання зайнявся вже згаданий Саймон Ньюком. Він зібрав і опрацював всі спостереження Місяця, починаючи з найдавніших часів, проїхав 1871 р. через всю Європу і зібрав з архівів усі спостереження затемнень, покриттів Місяцем зір тощо. Аналіз цього матеріалу, як також спостереження, проведені упродовж багатьох десятків років на Гринвіцькій обсерваторії, дозволили зробити висновок: справді, між теорією і спостереженнями є розбіжність, відхилення на 17" за 273 роки. Як зауважив А.Паннекук, на якусь мить Ньюком підійшов до ідеї, що причина цього – не в теорії і не в Місяці, а в нерівномірності обертання Землі навколо осі. Саме це було обґрунтовано за спостереженнями планет і супутників Юпітера вже в XX ст.

ЗА ГРАННЮ ХІХ ст. Проблема руху Місяця ще раз була переглянута американським астрономом і математиком Джорджем Уільямом

Хіллом (1838–1914) у 1878–1886 рр. На тій основі вже згаданий американський астроном Ернест Браун обчислив таблиці руху Місяця, які й сьогодні використовують при складанні астрономічних щорічників. Хілл ідею свого методу розвинув на основі «другої» місячної теорії Ейлера. Він розглядав рух Місяця в прямокутній системі координат з обертальними осями. Однак на відміну від Ейлера, в якого одна з осей була спрямована на «середній місяць», Хілл спрямував вісь X на «середнє сонце». Шукаючи розв'язки у вигляді безконечних тригонометричних рядів, в яких коефіцієнти є функціями середніх кутових швидкостей Місяця і Сонця, Хілл, врешті-решт, отримав деяку криву, що є кращим першим наближенням до збуреної орбіти Місяця, ніж кеплерівський еліпс. Ця крива дістала назву *варіаційної кривої*, або *проміжної орбіти*.

Загальноновизнано, що дослідження Хілла відкрили нову сторінку в теорії руху Місяця та інших супутників планет. Ньюком же назвав Хілла «найбільшим з живих майстрів у найвищій та найскладнішій галузі астрономії, який завоював своїй країні всевітню славу в науці...» Браун, працюючи з 1888 р. під керівництвом Хілла, розвивав теорію далі, долаючи труднощі і розробляючи оригінальні методи розв'язування основної задачі. Важливим прийомом було те, що коефіцієнти h , які входять у безконечний ряд, не розкладаються за степенями відношення середніх рухів Сонця і Місяця, оскільки ці величини від початку задаються за своїми числовими значеннями. Таким чином, метод Брауна є відносно одних величин аналітичним, відносно інших – числовим.

Розклади довготи, широти і паралакса Місяця в теорії Брауна містять відповідно 312, 349 і 185 членів. Теоретична робота зайняла у Брауна (як і в Ганзена та Делоне) двадцять років безперервної праці. Ще десять років пішло на складання таблиць руху Місяця, які були опубліковані 1919 р., а з 1923 р. більшість астрономічних щорічників вже склали на основі таблиць Брауна. В остаточному варіанті Браун урахував прямий і посередній вплив на Місяць планет, фігури Землі і Місяця, так що загалом у розкладі довготи налічується 726 членів, широти – 466, паралакса – 252. Цікавим є те, що, порівнявши обчислення за своїми таблицями з найповнішими спостереженнями Місяця, Браун був змушений ввести в середню довготу Місяця так званий великий емпіричний член.

$$\Delta\lambda = +10,71'' \sin [140,0^\circ (T - 18,5) + 170,7^\circ].$$

Тут T – епоха в юліанських століттях. Завдяки цьому спостереження Місяця в інтервалі 1720–1930 рр. подано з точністю до $0,1''$, а в інтервалі 1625–1720 рр. – до $0,6''$. Браун щодо цього зробив таке зауваження: «Якщо в минулому було затрачено багато зусиль на те, щоб представити рух Місяця за допомогою однієї гравітаційної теорії, то тепер визнається, що цього не можна досягнути повністю. Коли ми намагаємося навести давні й сучасні спостереження з одною і тою ж сукупністю сталих, то при будь-яких способах вирівнювання залишається певна розбіжність з теорією. Те ж саме маємо і відносно сучасних спостережень. Тут виявляються знакозмінні різниці, які не відповідають жодній гравітаційній теоретичній нерівності і які досить великі для того, щоб виключити можливість пояснення їх помилками в теорії або в спостереженнях».

Тим часом з 1919 р. вже здійснювано дослідження дисипації енергії припливів в мілководних океанських морях та їх впливу на вікові зміни швидкості обертання Землі. І в 1952 р. рішенням Міжнародного астрономічного союзу великий емпіричний член замінено такою поправкою до середньої довготи Місяця

$$\Delta\lambda = -8,72'' - 26,75'' T - 11,22'' T^2,$$

тут T – епоха в юліанських століттях, відлічувана від 1900,0. Вона мало відрізняється від поправки Брауна, але має конкретний зміст: поправка враховує нерівномірність обертання Землі за тривалі проміжки часу, в основному за рахунок припливного гальмування.

Важливу роль у дальшому розвитку точних методів і побудови «машинних» теорій руху Місяця зіграло створення системи фундаментальних астрономічних сталих. Спочатку Саймон Ньюком, опрацювавши та проаналізувавши 60 000 меридіанних спостережень планет, Сонця і Місяця (ця робота зайняла у нього 18 років), запропонував взаємно узгоджену систему 14 астрономічних сталих, яку і було прийнято 1896 р. на міжнародній астрономічній конференції в Парижі. Нова система сталих була затверджена 1964 р. на XII з'їзді МАС у Гамбурзі. Її було уточнено 1976 р. на XVI з'їзді МАС у Греноблі на підставі даних радіолокації і космічних апаратів.

Вимоги до якості і точності результатів тої чи іншої теорії істотно зросли після запуску штучних супутників Землі. Різні групи дослідників доклали чимало зусиль, так що до кінця 70-х років

розробка машинних аналітичних теорій руху Місяця значно просу- нулася вперед. Зокрема бельгійський вчений Жак Анрар зміг враху- вати для довготи і радіус-вектора Місяця відповідно 18 948 і 15 801 член, причому положення Місяця визначали з точністю до декількох сантиметрів. Дітер Шмідт (ФРН) побудував оригінальний алгоритм для розв'язку основної задачі місячної теорії за допомогою системи машинного маніпулювання степенними рядами. Члени його триго- нометричних рядів були обчислені з похибкою в $0,00001''$. Завдяки такій високій точності виявилася можливість з'ясувати і реляти- вістські ефекти в русі перигею та вузла місячної орбіти (відповідно $1,73''$ та $1,90''$ за сто років). Виявлено, що в коефіцієнтах розкладу довготи, широти і радіус-вектора Місяця релятивістські доданки становлять від 10^{-5} до 10^{-9} від ньютонівських.

Своєрідною вершиною зусиль у розробці числових теорій є ефемерида *DE-102/LE-51*, побудована 1982 р. Дж. Дж. Уїльямсом, Кс. Ньюхоллом та Е. М. Стендішем у Лабораторії реактивного руху (США). У ній «об'єднані динамічні теорії руху усіх великих планет, Місяця і п'яти найбільших астероїдів а урахуванням впливу всіх цих тіл (і, звичайно, Сонця) одне на одне, а також з урахуванням реляти- вістських ефектів. Були враховані і вплив фігур Землі та Місяця, і припливні ефекти з передачею імпульсу від Землі до Місяця. Довелося розв'язувати систему з 33 диференціальних рівнянь, причому їх порядок досягав 14-го.

Але ЕОМ справилася з цією нелегкою задачею. Трьом амери- канським астрономам вдалося обчислити ефемериду Місяця і планет на 44 століття: з 1411 р. до н.е. до 3002 р. н.е.

Далі була величезна робота з порівняння результатів, по-перше, зі спостереженнями, а, по-друге, з аналітичними теоріями. Були використані усі види спостережень: давні й середньовічні спосте- реження затемнень, позиційні спостереження Місяця, починаючи з XVII ст., сучасні радіолокаційні і світлолокаційні спостереження, траєкторні виміри орбітальних і прольотних космічних апаратів... Усього було використано близько 38 000 оптичних спостережень Сонця і планет, понад 5000 радіолокаційних спостережень і 300 траєкторних вимірів з космічних апаратів, щоб уточнити ефе- мериди планет, що входять в *DE-102*. Для Місяця отримано точність положень близько 40 см». (В. О. Бронштен, 1990).

Зусилля в намаганні отримати високу точність положень Місяця у широкому інтервалі часу продовжуються. Після згаданої тут ефемерида *DE-102* була 1983 р. опублікована покращена ефемерида *DE-118*. Розроблено ще точнішу – *DE-200* (див. § 3).

§ 3. РУХ ПЛАНЕТ. ВІДКРИТТЯ НЕПТУНА Й ПЛУТОНА

Намагання побудувати адекватну теорію руху планет, яка узгоджувалася б з результатами спостережень, упродовж близько 200 років стикалися з величезними труднощами і, як у випадку зі з'ясуванням особливостей руху Місяця, призводили аж до сумнівів у правильності закону всесвітнього тяжіння та введення поправок у закон Ньютона (див. § 1). Сам же факт наявності збурень у русі планет було встановлено задовго до Ньютона.

ВЗАЄМОДІЯ ЮПІТЕРА Й САТУРНА. Вже Й. Кеплер 1625 р. виявив, що Юпітер і Сатурн відхиляються від руху по своїх еліптичних орбітах. Згодом Е. Галлей (1695 р.) довів, що Юпітер рухається з прискоренням, його орбіта з часом ніби зменшується, тоді як рух Сатурна, навпаки, сповільнений, його орбіта стає більшою. У числовому вимірі цей ефект був невеликим: відносно обчислених положень ці планети за 1000 років повинні були відхилитися відповідно на $0^{\circ}57'$ і $2^{\circ}19'$.

Намагаючись пояснити це явище, Л. Ейлер розпочав вже згадані дослідження рівнянь збуреного руху. Спочатку він зробив висновок, що в русі Юпітера і Сатурна збурення діють неперервно і в одному напрямі, тобто що це збурення вікові. У 1773 р. німецький астроном Йоганн Генріх Ламберт (1728–1777) на противагу знайденому раніше виявив сповільнення Юпітера і прискорення Сатурна. Теоретичні дослідження Лагранжа і Лапласа довели: взаємне притягання планет призводить не до вікових, а лише до періодичних змін великих півосей планет, і зміни ексцентриситетів також є періодичними.

У 1784 р. Лапласу вдалося пояснити загадкову поведінку Юпітера і Сатурна: якщо T_J і T_S – відповідно сидеричні періоди обертання Юпітера і Сатурна, то $5T_J \approx 2T_S$ і в русі їх завдяки резонансу виникають великі довгоперіодичні збурення. Зміни в довготах планет і виникають у зв'язку з нагромадженням ефекту ексцентриситету. Період коливання виявився близьким до 900 років, а найбільші відхилення по довготі в Юпітера можуть сягати $21'$, в Сатурна – $49'$. Згодом Лаплас про це висловився так: «Нерівності обох планет, які

раніше здавалися не поясненими за допомогою закону всесвітнього тяжіння, тепер є одним з найдивовижніших доказів на його користь. Така доля цього блискучого відкриття Ньютона, що будь-які виникаючі труднощі перетворює у привід для нового тріумфу, – обставина, що є найдивнішим доказом істинної системи природи».

ПРОБЛЕМИ УРАНА. Дуже швидко після відкриття Урана виявилось, що в своєму русі ця планета відхиляється від теоретично обчисленого шляху (рис. 4. 5). Не допомагало врахування можливих збурень

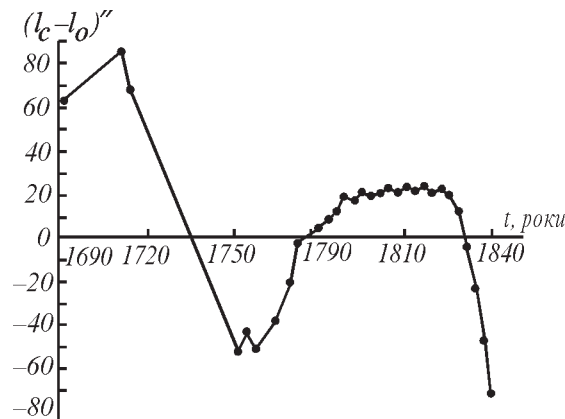


Рис. 4. 5. Різниця між спостережуваною l_c і та обчисленою l_0 середніми довготами Урана за 30 спостереженнями 1690–1840 рр.

з боку інших планет, передовсім Юпітера і Сатурна. Тому, починаючи з 1832 р., було висловлено декілька гіпотез: 1) Уран при своєму русі зазнає опору газо-пилового середовища, яке заповнює міжпланетний простір, 2) у нього є ще не відкритий супутник, який і спричиняє спостережувані відхилення, і 3) планета в недалекому минулому зазнала зближення з кометою. І, звичайно, знову було поставлене питання: чи залишається справедливим на так великих відстанях закон всесвітнього тяжіння. Після ґрунтовного аналізу всіх можливих варіантів французький астроном Алексіс Бувар (1767–1843), який затратив винятково багато зусиль для побудови теорії руху Урана, дійшов цілком конкретного висновку: всі особливості руху планети пояснюються тим, що на неї виявляє вплив ще одна, дотепер не відкрита і невідома планета. Бувар цілком був впевнений у тому, що положення невідомої планети можна обчислити, а тоді «організувати пошуки в близьких околицях».

І ось що на це відповів директор (з 1836 по 1881 рр.) Гринвіцької обсерваторії Джордж Біддел Ері (1801–1892): «...я без коливань висловлюю думку, що зараз немає жодної надії з'ясувати природу зовнішньої дії. Якщо ж така є, то я дуже сумніваюся у можливості визначити положення планети, яка виявляє цю дію. Я впевнений, що цього не можна зробити, доки природа нерегулярностей не буде добре визначена після декількох послідовних обертів Урана». А оскільки період обертання Урана дорівнює 84 роки, то Ері радив почекати років 250... Це було сказане 1834 р., а через три роки Ері писав племінникові Бувара: «Якщо це ефект якогось невидимого тіла, то буде майже неможливо коли-небудь знайти його положення». Проте в середині 30-х років XIX ст. вже багато астрономів думали про ще не відкриту планету. Так, у «Популярній астрономії» (1841 р.) директор (1840–1866 рр.) Дерптської (Тартуської) обсерваторії Йоганн Генріх Медлер писав: «Ми приходимо до висновку про існування планети, яка діє на Уран... Ми можемо навіть висловити надію, що в деякому майбутньому математичний аналіз реалізує свій найбільший тріумф – відкриття, зроблене очима розуму там, куди безпосередньо зір людини не в змозі проникнути».

Орієнтуючись на правило Тіціуса–Боде (14, § 3), деякі астрономи навіть визначали, де мала б бути ця невідома планета: «приблизно на подвійній відстані від Сонця, порівнюючи з Ураном, а... її період обертання мав би становити... близько 243 років». Вже згаданий англійський астроном Адамс 1841 р. записав собі в щоденник: «Прийняв рішення... приступити до дослідження неправильностей в русі Урана,... що приведе, імовірно, до відкриття планети». Через два роки Адамс, ставши переможцем математичного конкурсу, отримав ступінь бакалавра в коледжі при Кембридзькому університеті і був включений до вченої ради коледжу. На початку літа 1843 р. він вже отримує перші результати. Усього ж до вересня 1846 р. Адамс розглянув шість варіантів задачі, але через свою скромність не опублікував їх. Лише приватно він повідомив про них Ері і директора Кембридзької обсерваторії Джеймса Челліса (1803–1882). Тоді, однак, ні перший, ні другий пошуками нової планети не зайнялися.

Тим часом у листопаді 1845 р. Урбен Левер'є зробив доповідь на засіданні Паризької Академії наук щодо проблеми Урана. Доповідь було опубліковано, через сім місяців Левер'є публікує ще одну статтю.

Лише після цього Ері звернувся до Челліса з проханням розпочати пошук планети (у Кембриджі був 30-см телескоп, тоді як у Гринвічі усього 17-см). Челліс розпочав пошук лише 29 липня. Він вирішив відмічати усі зорі до 11-ої величини, поле зору його окуляра становило усього 9'...

31 серпня 1846 р. Левер'є представив третю статтю і, оскільки паризькі астрономи не спішили розпочати пошук, він 18 вересня звернувся з листом до німецького астронома (такого ж молодого, як і він сам) Йоганна Готфріда Галле (1812–1910): «...Я хотів би знайти наполегливого спостерігача, який погодився б виділити певний час для спостережень у тій ділянці неба, де може перебувати невідома планета». Отримавши лист, Галле переконав директора обсерваторії Йоганна Франца Енке провести незаплановані спостереження. Разом зі студентом Генріхом Луї д'Арре Галле упродовж декількох годин марно шукав серед зір об'єкт з видимим диском 3", про який писав Левер'є. І лише після того, як д'Арре запропонував використати карту зоряного атласу, виданого Берлінською Академією наук наприкінці 1845 р., вони знайшли планету на відстані всього 52' від вказаного Левер'є місця. Згодом було встановлено, що Адамс дав координати нової планети з похибкою, дещо меншою 2°. Дуже близькими були і розрахунки її орбіти, здійснені обидвома вченими. Так на «кінчику пера» було відкрито ще одну планету Сонячної системи, назвати яку Нептуном запропонував сам Левер'є.

Згодом виявилось, що Челліс тричі бачив нову планету: 4 і 12 серпня, а також 29 вересня,... але карти в нього не було, а переконатися в тому, що спостережуваний об'єкт має диск, він не зумів. Що більше, вже в лютому 1847 р. було доведено, що планету Нептун спостерігали Й. Лаланд у травні 1795 р. і... Галілео Галілей у грудні 1612 р. та січні 1613 р. (недалеко від Юпітера як зорю 8-ї величини, однак зоря тоді його не цікавила...)!

За Нептуном – Плутон. Після відкриття Нептуна Левер'є почав уточнювати теорію руху Урана з урахуванням дії Нептуна (який виявився значно ближче, ніж передбачували) і будувати теорію руху Нептуна. До 1875 р. стало ясным, що повної узгодженості спостережень і теорії немає як для першої, так і для другої планети. І знову виникла підозра, що причиною цього є ще одна планета, яку належить відкрити. За справу взявся американський астроном

Персіваль Ловелл (1855–1916). Перший розв’язок задачі про «планету Ікс» він отримав 1905 р., через три роки – другий, а 1916 р. «Повідомленням про транснептунову планету» Ловелл підвів підсумок своїм багаторічним дослідженням. На побудованій ним 1894 р. в штаті Аризона обсерваторії він 1915 р. розпочав пошук планети Ікс, фотографуючи з інтервалом в декілька днів окремі ділянки неба та порівнюючи між собою положення зір, надіючись знайти об’єкт, що змінює свої координати. Після смерті Ловелла цю роботу ніхто не продовжив. Тим часом, як виявилось згодом, у визначенні довготи планети він помилився усього на $6,6^\circ$...

Пошуки нової планети було відновлено наприкінці 1919 р. за ініціативою американського астронома У. Пікерінга, який провів свій власний розрахунок елементів орбіти планети і (знову ж таки це стало відомим пізніше) помилився у визначенні її довготи усього на $1,1^\circ$. В обсерваторії Маунт-Вілсон було сфотографовано відповідні ділянки неба, однак планету не знайдено. Згодом виявилася, що її на них можна було знайти. Проте шукали об’єкт поблизу екліптики (у смузі $\pm 2^\circ$ від неї), тоді як планета була на відстані 4° від неї.

Відкрив планету, якій було дано назву Плутон, Клайд Уільям Томбо (1906–1996) у лютому, але перше повідомлення про це з’явилося 13 березня 1990 р. Протягом пошуку, що тривав 13 місяців, Томбо на 33-см телескопі терпеливо і наполегливо фотографував окремі ділянки неба та порівнював між собою пластинки, що охоплювали поле розміром $13^\circ \times 13^\circ$. На кожній з них було від 100 000 до 400 000 зір. А оскільки Томбо не довіряв розрахункам ні Ловелла, ні Пікерінга, то довелося виконати багато зайвої роботи. Бо Плутон був зовсім недалеко від передбаченого Пікерінгом місця поблизу зорі δ Близнят.

Є ПОТРЕБА ВЗТВ! До того як зайнятися проблемою Урана, Левер’є 1840 р. за дорученням директора Паризької обсерваторії Домініка Араго працював над теорією руху Меркурія. У 1859 р. Левер’є на підставі 397 проведених у Паризькій обсерваторії меридіанних спостережень цієї планети і даних про 14 її проходжень через диск Сонця запропонував свою теорію руху Меркурія. На світлому тлі цього винятково строгого дослідження була одна темна пляма: невеликий надвишок у величині зміщення перигелію. Усього за сто років перигелій зміщувався на $566''$, з них на $281''$ завдяки збуренню

руху Меркурія з боку Венери, на 84" за рахунок Землі, за рахунок Марса – менше 3", Юпітера – майже 153", Сатурна – 7". В сумі це давало 527". Залишалося невідомим – звідки беруться оці 39"...

Було дві можливості усунути розбіжність теорії зі спостереженнями: 1) покласти, що навколо Сонця обертається невідома ще планета, орбіта якої розташована всередині орбіти Меркурія, або 2) збільшити масу Венери. Був ще третій варіант – уточнити закон всесвітнього тяжіння. Все це було випробувано.

Збільшивши масу Венери на 10%, Левер'є отримав бажану погодженість теорії та спостережень для Меркурія. Однак зразу ж виявилось, що надвишкова маса Венери приводить до збурень у русі Землі, зокрема в нахилі екліптики, що обов'язково було б помічене. Варіант виявився неприйнятним.

Якщо ж говорити про дію на Меркурій ще невідомої матерії, то фактично можна було розглядати дві можливості: одна планета або рій астероїдів. Привабливішою була перша. Однак Левер'є, подумавши, що велику планету ще ніхто не зауважив ні при сонячних затемненнях, ні в проходженні через диск Сонця, у тому ж мемуарі писав: «Ті, кому ці заперечення здадуться надто серйозними, прийдуть до думки замінити одну планету роєм астероїдів, чий гравітаційні збурення, складаючись, створять такий же вплив на перигелій Меркурія... Гіпотеза, до якої ми дійшли, цілком мислима».

Однак майже зразу з'явилися повідомлення про те, нібито проходження невідомої планети через диск Сонця вже спостерігали. Для неї французький астроном М. Бабіне ще 1846 р. запропонував назву Вулкан. В середині XIX ст. дуже багато астрономів схильні були повірити в його існування. Оцінки приводили до таких параметрів: середня відстань від Сонця 0,20 а. о., маса $1/14$ маси Землі, в астрономічній літературі тоді вже була 21 згадка про можливе проходження планетного тіла через диск Сонця.

У 1876 р. Левер'є розрахував орбіту Вулкана і вказав моменти його проходження через диск Сонця. Але, як зауважив Н. Роузвер (1985), за час двадцятирічних пошуків, які подекуди були дуже старанними, мало хто з астрономів повідомив про успішні спостереження. Довелося повертатися до гіпотези про кільце астероїдів. Біда, однак, полягала в тому, що для забезпечення спостережуваного зміщення вузлів орбіти Меркурія це кільце повинно б бути нахилене

під кутом близько $7,5^\circ$ до орбіти планети. І тут зразу виникало питання про стійкість такого кільця в часі.

Тому 1894 р. Асаф Холл і запропонував уточнити закон всесвітнього тяжіння, поклавши, що показник степеня при відстані $n = 2,000\ 000\ 16$. Але вже 1897 р. було доведено, що це суперечить теорії руху Місяця. Почалося обговорення гіпотези німецького астронома Хуго Зелігера (1849–1924), що базувалася на факті існування зодіакального світла, вперше, як здається, зауваженого ще Дж. Кассіні (1683 р.). Зелігер поклав, що навколосонячний простір заповнений розрідженою речовиною, яка і створює обговорюваний ефект. Серйозним критиком цієї гіпотези був Ньюком, але і він погодився з нею. Однак 1919 р. після аналізу розподілу яскравості світла поблизу Сонця при його повному затемненні (яскравість спадає значно різкіше, ніж цього вимагала гіпотеза Зелігера) і цей варіант розв'язку задачі про зміщення перигелію Меркурія був відкинутий. Але він на той час вже знайшов своє пояснення в рамках загальної теорії відносності. Щодо цього, то ще 1907 р. Ейнштейн в одному зі своїх листів писав: «...я зайнятий створенням релятивістської теорії закону тяжіння, за допомогою якої я надіюся знайти причину поки що непоясненого зміщення перигелію Меркурія». І справді, з теорії Ейнштейна випливає, що для Меркурія зміщення перигелію дорівнює $43''$ за сто років. У грудні 1915 р. Ейнштейн міг повідомити: «Результат, що стосується зміщення перигелію Меркурія, наповнює мене глибоким задоволенням».

ТЕОРІЯ РУХУ ПЛАНЕТ. Тут доцільно хоча б коротко згадати про розвиток теорій руху планет, хоча значною мірою це буде повторенням того, що мовилося про теорії руху Місяця. Незайвим, однак, буде таке зауваження. Як згадано, Ейлер для оцінки відхилень елементів орбіт від їх початкових значень використав метод представлення кожного з параметрів орбіти у вигляді ряду, в якому збурення складаються з доданків трьох типів – періодичних, вікових і змішаних нерівностей. Отже наявність вікових збурень (збурення зростають пропорційно часу, квадрату чи навіть кубові часу), хоч вони й розвиваються дуже повільно, можуть достатньо точно описувати справжній рух планет лише протягом повного часу, тоді як за межами визначеного проміжку часу вони стають непридатними. З'ясовано, що здебільшого члени, які в аналітичних теоріях розглядаються

як вікові, є насправді довгоперіодичними (наприклад, зміна ексцентриситетів і нахилів орбіт планет). Віковим змінам підлягають лише два елементи орбіт – довгота висхідного вузла і відстань перигелію від вузла.

Числові методи розв'язування рівнянь руху небесних тіл (що є диференціальними рівняннями) запропонували Л. Ейлер (1768 р.), згодом Дж. Адамс (1855 р.). Широко відомий метод Рунге–Кутта був запропонований німецьким математиком К. Рунге (1895 р.) та удосконалений його співвітчизником В. Кутта (1901 р.). У 1908 р. англійські математики П. Коуелл, та Е. Кромлін опублікували ще один метод, розроблений саме для розв'язування рівнянь руху небесних тіл Сонячної системи. І після появи потужних ЕОМ, здатних виконувати сотні мільйонів операцій за секунду, астрономи почали віддавати перевагу якраз числовим методам. Числові ж розв'язки рівнянь руху небесних тіл отримали статус числових теорій руху, ними почали заміняти аналітичні теорії.

І тут наведемо слова Ю. О. Рябова (1988): «Після 1971 р. була створена ціла серія числових теорій руху для всіх планет і Місяця, заснована на ближчих до реальності механічних схемах. Цим теоріям – результатам праці великих колективів астрономів та математиків – присвоєні за традицією буквено-цифрові позначення: DE²⁰⁰/LE²⁰⁰... Теорія DE²⁰⁰/LE²⁰⁰ є основою всіх астрономічних щорічників з 1980 р... Ця теорія впливає з рівнянь руху, які враховують, як здається, всі хоч трохи істотні сили: взаємне притягання всіх дев'яти планет, Місяця, а також п'яти найбільших астероїдів, форму Землі, особливості обертального руху Землі та Місяця, ефекти теорії тяжіння Ейнштейна. Вона охоплює проміжок часу з 1800 по 2050 рр. Вдалося так підібрати значення мас планет і початкових елементів орбіт, що розбіжності з усіма відомими спостереженнями не перевищують 0,05"».

Вже згадана вище теорія DE¹⁰²/LE⁵¹, яка охоплює проміжок часу від 1411 р. до н.е. до 3002 р. н.е. і при побудові якої використано 48 478 оптичних спостережень за 1911–1971 рр., а також радарні та лазерні спостереження, дає такі найбільші відхилення від фактичних відстаней Місяця від Землі і планет від Сонця: Місяць – 50 м, Меркурій – 30 м, Венера – 50 м, Земля – 90 м, Марс – 800 м, Юпітер – 120 км, Сатурн – 400 км, Плутон – 7000 км.

У 1965–1967 рр. у США була побудована числова теорія руху зовнішніх планет в інтервалі 120 тис. років, а 1972 р. – на ефективнішій ЕОМ в інтервалі 1 млн. років, причому у другому випадку при швидкості понад 1 млн. операцій за секунду це зайняло 20 годин машинного часу. Хоча точність цих теорій не дуже висока, то все ж загальні зміни елементів орбіт відображені досить добре. Наприклад, виявлено, що орбіта Плутона зазнає маятникових коливань і Плутон не зближується з Нептуном на відстань меншу, ніж 18 а. о., хоча орбіти цих планет майже перетинаються в просторі.

Цікаві й такі зауваження Ю. О. Рябова: «Небесна механіка звернулася за допомогою до ЕОМ, але маючи на увазі не числові, а саме аналітичні розв'язки... Виявилось, що можна доручити ЕОМ не лише операції з числами, але також і роботу, яку до цих пір виконували спеціалісти – математики, – операції з формулами, тобто математичні викладки.

Перший шлях використання ЕОМ у новій ролі «математика» для побудови аналітичних теорій в небесній механіці – удосконалення класичних аналітичних теорій, і першою з них була теорія Брауна руху Місяця..., всі математичні викладки, виконувані Брауном вручну, були проведені на ЕОМ. Попередньо астрономам і математикам довелося впорядкувати... увесь комплекс математичних перетворень, привести його до системи послідовних операцій, які можуть бути виконані комп'ютером в автоматичному режимі, скласти для ЕОМ програму (точніше, цілий набір програм) обчислень...

Другий шлях удосконалення теорій руху з допомогою ЕОМ – побудова «машинних», повністю аналітичних (буквених) теорій. Приклад такої буквеної теорії, побудованої раніше вручну, астрономи мали. Це теорія руху Місяця Делоне... В 1970–1971 рр. французькі астрономи А. Депрі, У. Анрар і А. Ром зуміли перевести процес побудови розв'язку за Делоне на мову ЕОМ, що дозволяло майже необмежено продовжити перетворення Делоне і досягти якщо не будь-якої, то значно більшої точності...»

Зміщення земних полюсів. Ще Л. Ейлер, розглядаючи задачу про обертання Землі, передбачив деяке зміщення полюсів з періодом 305 діб, що зумовлене змінами положення осі обертання в тілі Землі. У 1885 р. американський астроном Сет Карло Чандлер (1846–1913), досліджуючи в Кембриджі (штат Массачусетс) коливання широти

за більш ніж 200 років, виявив такі коливання з амплітудою 0,4" і періодом 428 діб. На поверхні Землі полюс описує складну траєкторію в квадраті зі стороною 26 м. Невдовзі Ньюком довів, що це відхилення в тривалості періоду від передбаченого Ейлером обумовлене тим, що Земля не є абсолютно твердою, а має певні пружні властивості, зокрема істотний внесок дають води океану, які сповільнюють зміщення осі Землі, переміщуючись під дією відцентрової сили. Крім цих вільних коливань, виявлено також вимушені коливання полюса з річним і піврічним періодами, що зумовлені сезонними змінами в природі.

Розділ 16. ПЕРШІ КРОКИ АСТРОФІЗИКИ

Упродовж багатьох століть всіяний зорями небосхил був лише ніби фоном, на якому відбувалися рухи Сонця і Місяця, планет і зрідка комет. Здається, надто довго людина з'ясувала природу того небесного тіла, що було і є її домом, – нашої Землі, з'ясувала місце її серед інших світил. Та, нарешті, прийшла черга дослідити природу зір і Сонця, як одної з них, найближчої до нас. Дослідити фізичні умови зовнішніх шарів і надр, їхній хімічний склад, будову, джерела енергії і шляхів розвитку. Починати ж довелося з вимірювання світлових потоків, з аналізу особливостей спектрів – не знаючи ні законів випромінювання, ні механізмів формування спектральних ліній і серій, які ще належало відкрити. Як також – вести пошук і статистичні узагальнення різних нестаціонарних зір, вивчати зміни їхнього блиску в надії, що як хвороби дають змогу краще вивчити будову і роботу окремих органів людини, так вивчення змінності зір дозволить з'ясувати тонкощі їхньої будови і фізики процесів, що розгортаються в їх надрах.

Однією з важливих передумов розвитку астрофізики було встановлення закону збереження енергії. У своїй праці «Зауваження про сили неживої природи» (1842 р.) німецький фізик Роберт Майєр (1814–1878) сформулював його так: «Сили є причинами; отже до них цілком застосовна аксіома: причина рівна дії...» І далі: «... причини незруйнівні і здатні до перетворень...» Тут під «силою» Майєр розумів енергію. Сам термін «енергія» щоправда, запропонував ще Томас Юнг (1773–1829), однак поширення він набув лише після 1849 р., коли його використав у своїх працях У. Томсон (1824–1907).

Відповідно до цього зросла роль фотометрії у встановленні точних значень світлових потоків, що приходять від конкретної зорі. І тут своєчасною була робота (1856 р.) англійського астронома Нормана Роберта Погсона (1829–1891), який прийняв, що освітленість від зорі 1-ої зоряної величини рівно у сто разів більша, ніж від зорі 6-ої величини (це було зауважене ще Джоном Гершелем), або що для двох сусідніх величин вона відрізняється в $\sqrt[5]{100} = 2,512$ раза. Тим самим була встановлена сучасна *шкала зоряних величин*.

Загалом же астрофізика немислима без спектрального методу, інтенсивний розвиток якого і розпочався буквально з перших років XIX ст. Одним же з важливих його теоретичних елементів став ефект Доплера – явище, відкрите 1842 р. австрійським фізиком Християном Доплером (1803–1853): якщо джерело світла рухається відносно спостерігача зі швидкістю v , то замість довжини хвилі λ_0 , яку воно випромінює, спостерігач зареєструє хвилю довжиною λ , так що

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda} = \frac{v}{c}, \text{ де } c - \text{швидкість світла.}$$

З кожним десятиліттям зростала роль *колориметрії* – визначення потоків світлової енергії в окремих спектральних діапазонах. Розпочиналася ж вона з констатації різниці в кольорах окремих зір. Так, німецький астроном Юліус Шмідт (1825–1884), вимірюючи кольори зір, ввів для цього такі числа: 0 – чисто білий колір, 2–4 – різні відтінки жовтого і 6–10 – червоного кольорів.

Важливим внеском в астрофізику були праці австрійських фізиків Йозефа Стефана (1835–1893) і Людвіга Больцмана (1844–1906). Перший з них 1879 р. виявив з експериментів, а другий 1884 обґрунтував теоретично, що кількість енергії ϵ , яку випромінює нагріте чорне тіло з одиниці поверхні за одиницю часу, пропорційне четвертому степеневі його абсолютної температури T : $\epsilon = \sigma T^4$, де σ – стала величина. У 1893 р. німецький фізик Вільгельм Він (1864–1928) встановив відомий закон зміщення Віна: довжина хвилі, що відповідає максимуму випромінювання чорного тіла, обернено пропорційна його температурі. Це, однак, були перші кроки астрофізики, її ж розквіт стався у наступному, XX ст.

§ 1. Зорі: змінні, подвійні, звичайні

Світ «дивних» зір. І в часи Гіппарха, і Тіхо Браге та Кеплера поява на нічному небосхилі нової зорі стимулювала роздуми щодо природи цих світил, природи зір взагалі. З деякого часу не менше зацікавлення спричиняли і змінні зорі. Ось короткий перелік відкриттів найголовніших типів змінних зір.

У 1596 р. німецький астроном Давид Фабріцій (1564–1617) зауважив у сузір'ї Кита зорю, якої там раніше не було видно і яка невдовзі зникла. Через тридцять років нідерландський астроном Фокілід Гольварда (1618–1651) спостерігав її зникнення і повторну появу 1639 р. Цю зорю Байер позначив грецькою літерою θ , а Гевелій дав їй назву «Міра» (тобто «Дивна»). У 1667 р. французький астроном (до речі, як і Фабріцій, він був священником) І. Буйо вперше виміряв період зміни блиску Міри, оцінивши його у 333 доби (сучасні дані – 331,5 доби). Він же висловив припущення, що причиною зміни блиску може бути обертання зорі навколо осі. У 1669 р. італійський астроном Джемініано Монтанарі (1633–1687) відкрив змінність блиску зорі β Персея. Щоправда, про змінність блиску цієї зорі значно раніше знали арабські астрономи, які назвали її «Ель-Гуль», або «Алголь» – «Око диявола». У 1782 р. англійський астроном Джон Гудрайк (1764–1786), який в дитинстві після важкої хвороби втратив слух і мову, визначив період зміни блиску Алголя, а також розгадав причину цього явища: «Якби не було ще дуже рано висловлювати міркування про причини змінності, я міг би допустити існування великого тіла, що обертається навколо Алголя».

Через два роки, 1784 р., Гудрайк виявив, що зоря δ Цефея регулярно змінює свій блиск з періодом 5,37 доби. Він же встановив змінність зорі β Ліри. Його друг Едуард Піготт (1750–1807) у 1784 р. відкрив змінність зорі η Орла, у 1785 р. – R Північної Корони і R Щита. У складеному Піготтом каталозі змінних зір (1786 р.) вже налічувалося 12 об'єктів.

Зацікавився змінами блиску зір і В. Гершель. З властивою йому фундаментальністю він вирішив перевірити блиск усіх 3000 зір, включених Флемстідом у його виданий посмертно 1725 р. «Британський каталог», а також порівняти цей блиск з даними атласа Байера. Підсумком цієї роботи стали чотири каталоги, опубліковані 1796–1799 рр., ще два каталоги вийшли після смерті В. Гершеля. Розбіжності

в блиску справді були, але відкрити змінну В. Гершелеві вдалося лише одну, нею була зоря α Геркулеса.

В. Гершель винайшов систему ком і рисочок для фіксування відмінностей в блиску зір, однак вона була незручною. До того ж у вивченні змінних зір настала перерва до 1843 р., коли з'явилася стаття німецького астронома Фрідріха Вільгельма Августа Аргеландера (1799–1875) про зорю β Ліри. Аргеландер розробив метод числової оцінки невеликих різниць у блиску змінної зорі та зорі порівняння (метод «ступенів», що використовується й сьогодні), вперше почав визначати зоряні величини з точністю до десятих часток, увів класифікацію змінних зір, яка в основному зберігається і сьогодні. У 1843 р. Аргеландер опублікував «Нову уранометрію» – атлас і каталог усіх зір, видимих неозброєним оком. Згодом, у 1852–1859 рр. він керував роботою над створенням каталога «Боннський огляд», в якому для 324 198 зір, яскравіших за 9^m, від Північного полюса світу до схилення $\delta = -2^\circ$ були вказані координати з точністю до 0,1' і блиск з похибкою 0,3^m. Але ще раніше, 1844 р., Аргеландер написав «Заклик до друзів астрономії», в якому запропонував за допомогою невеликих телескопів або навіть візуально досліджувати метеори, блиск і колір зір і особливо зміни їхнього блиску. Завдяки значною мірою ентузіазму аматорів астрономії до 1889 р. було вже зареєстровано 225 змінних зір. До 1919 р. лише зір типу Алголя вже було відомо 131, зір типу δ Цефея – цефеїд – 169, довгоперіодичних змінних типу Міри Кита – понад 600.

Були здійснені спроби встановити причину змінності блиску зір окремих типів. Легше це вдалося зробити у випадку Алголя та її подібних. У 1889 р. німецький астроном Герман Карл Фогель (1841–1907) разом з Ю. Шейнером, вивчаючи спектр Алголя, виявив регулярні зміни в положеннях окремих спектральних ліній у цілковитій відповідності з кривою блиску. Так було підтверджено висловлене Гудрайком припущення про подвійність Алголя, яка виявилася затемнюваною подвійною зорею.

У 1894 р. російський астроном А. А. Белопольський (1854–1934) виявив періодичність змін променевої швидкості зорі δ Цефея синхронно зі зміною її блиску. Аналогічні зміни були знайдені і в інших зір цього типу. Близько 20 років розробляли гіпотезу, за якою цефеїди – подвійні зорі, в яких компоненти перебувають дуже

близько один до одного. Але ще 1896 р. при захисті докторської дисертації А. А. Белопольським російський фізик М. О. Умов (1846–1915) висловив припущення, що цефеїди – пульсуючі зорі, які періодично стискаються і розширюються.

У другій половині XIX ст. спостерігали декілька спалахів нових: 1866 р. у Північній Короні, 1876 р. у Лебеді, 1892 р. у Візничому. Пояснення ж цього феномена було дано лише в середині XX ст.

Подвійні зорі. Паннекук (1966) зауважив: «Подвійні зорі були настільки дивними для світогляду того часу, що спочатку навіть піддавалося сумніву саме існування десятків і сотень таких зір... Для якої мети Творець або природа могли створити систему з двох, часто неоднакових та по-різному забарвлених зір? Як повинні б рухатися планети поблизу двох цих сонць?»

Зі свого боку, А. Беррі (1946) писав: «...як Брайс, намагаючись знайти паралакс зорі, відкрив аберацию і нутацію, так і Гершеля аналогічні спроби привели до відкриття орбітального руху подвійних зір. Він хотів скористатися галілеєвим диференціальним методом подвійної зорі, при якому мікроскопічне зміщення зорі, обумовлене рухом Землі навколо Сонця, зауважується... за зміною відстані її від найближчої зорі, яку за слабкістю її блиску... можна вважати значно дальшою... З цією метою Гершель взявся відшукувати зоряні пари, досить тісні для того, щоб ними можна було скористатися...»

Тісні подвійні пари зір В. Гершель вивчав упродовж 40 років. Перший їх каталог він опублікував на початку 1782 р., у ньому налічувалося 269 пар, з них 237 відкритих самим Гершелем. У 1784 р. він подав у Королівське товариство другий каталог з 434 пар, ще 145 пар він опублікував 1821 р. Усього ж Гершель відкрив понад 800 подвійних і кратних систем. У 1803 р. він зміг в 6 випадках впевнено сказати, що напрям лінії, яка з'єднує компоненти системи, змінився, отже зорі кожної з пар обертаються навколо спільного центра мас. І це відкриття здалося Гершелю цікавішим від того, що він думав відкрити; за його власним висловом, він, як Біблійний Саул, вийшов шукати ослів свого батька, а знайшов царство...»

Велику роль у вивченні подвійних зір зіграли праці В. Я. Струве (до речі, він 1810 р. закінчив Тартуський університет за спеціальністю філологія, однак вже через три роки став астрономом-професіоналом), який для цього використав найкращий з фраунгоферових

інструментів того часу – 23-см рефрактор, а згодом – новий найдосконаліший нитковий мікромметр. Завдяки цьому відстані між компонентами Струве визначав з похибкою до сотих часток секунди дуги. Після ретельного перегляду близько 120 000 зір Струве опублікував «Новий каталог» (1827 р.), де було подано інформацію про 3110 подвійних зір, з яких 2343 відкрив він сам. Через 10 років він публікує «Мікрометричні виміри подвійних зір» (1837 р.) з результатами 11 392 вимірів зір (2714 пар). І, нарешті, 1852 р. вийшов каталог «Середні положення», в якому наведено результати вивчення 2874 зір, в основному подвійних і кратних, за попередні роки.

Ще одним із когорти дослідників кратних зір був американський астроном Шербьорн Уеслі Бьорнхем (1838–1921), який відкрив 1274 подвійні зорі і склав загальний каталог відомих до кінця XIX ст. подвійних зір, що включав 13 655 об'єктів (виданий 1906 р. у Вашингтоні). Здебільшого він вивчав (маючи в останні роки у своєму розпорядженні 40-дюймовий рефрактор) дуже тісні пари, в яких відстані між компонентами не перевищували 1".

З початком XX ст. для дослідження подвійних зір використовують **фотографічний метод**. Піонером тут був російський вчений П. К. Штернберг (1865–1920), як також, дещо пізніше (1914–1919 рр.) датський астроном Ейнар Герцшпрунг (1873–1967). Завдяки цьому з'явилася можливість з високою точністю визначати орбіти систем і навіть, як це було, наприклад, з зорею 61 Лебеда, виявляти збурення руху компонента, що свідчать про наявність у системі темного планетоподібного тіла.

Новий тип подвійних зір було виявлено, як тільки фотографічний метод почали застосовувати при дослідженні зоряних спектрів. Передусім У. Пікерінг у 1889 р. виявив періодичне роздвоювання ліній у спектрі Міцара – зорі ζ Великої Ведмедиці. Зразу ж співробітниця Гарвардської обсерваторії Антонія Каетана Морі (1866–1952) встановила, що період цієї спектрально-подвійної зорі дорівнює 104 доби. Тоді ж вона знайшла іншу спектрально-подвійну – зорю β Візничого, згодом відкрила і вивчила значне число зір цього типу. У 1890 р. Г. Фогель, співпрацюючи з Ю. Шейнером, виявив, що променева швидкість зір Спіка та Алголь періодично то збільшується, то зменшується. Було зроблено висновок, що світності компонентів спектрально-подвійних зір можуть істотно відрізнятися,

так що в деяких випадках друге тіло системи може бути дуже слабким. Наприкінці XIX ст. в каталогах спектрально-подвійних зір налічували вже близько 2000 об'єктів, навіть зроблено висновок, що такими, можливо, є третина зір.

ЗАРОДЖЕННЯ АСТРОФІЗИКИ. Розклавши біле сонячне світло у спектр, Ньютон передбачив цьому ефекту велике майбутнє: «...безумовно, той, хто буде уважно і наполегливо досліджувати ці речі, не залишиться без багатих плодів своєї праці...» І справді, саме завдяки спектральному аналізу заявила можливість вивчати фізичний стан і хімічний склад поверхневих шарів зір (передусім Сонця), а також вивчати рухи в атмосферах зір, рухи самих зір Галактиці тощо.

У 1802 р. англійський фізик Вільям Волластон (1766–1828) повідомив, що за його спостереженнями сонячне світло після проходження через призму не є неперервним рядом усіх кольорів від червоного до фіолетового, а перерізаний темними лініями, паралельними щілині, через яку світло проходить. Те ж саме він спостерігав і в спектрах різних розжарених тіл.

Детальніше це питання дослідив Й. Фраунгофер, який раніше за інших догадався розглядати спектр через зорову трубу. Він виявив, що у спектрах полум'я рослинної олії і спирту в одному і тому ж місці є чітка здвоєна жовта лінія. Досліджуючи сонячний спектр, він відкрив у ньому та описав 576 окремих темних ліній, що зветься тепер *фраунгоферовими*. Найяскравіші з них він позначив великими літерами (від червоного до фіолетового кінця спектра) – *A, B, C, D, E, F, G, H* (з них добре відома лінія водню H_{α} була позначена літерою *C*, лінія H_{β} – *F* і т. д.).

Фраунгофер почав дослідження спектрів інших небесних тіл і виявив при цьому, що в спектрах Місяця і планет є такі ж темні лінії, як і в сонячному, на відміну від спектрів зір.

Але найголовнішим було інше. Порівнюючи спектр полум'я рослинної олії з сонячним, Фраунгофер виявив, що яскрава лінія полум'я займає те ж місце, що й темна лінія *D* сонячного спектра. Так отримано перший доказ того, що Сонце складається з тих же хімічних елементів, що й Земля; цим було закладено основи спектрального аналізу. Передчасна смерть у віці 39 років перервала його діяльність. На могилі вченого встановлено напис: «Він наблизив до нас зорі...»

Згодом, 1857 р., Вільям Сван (1817–1871) встановив, що жовта лінія D випромінюється натрієм, дуже поширеним у природі. Узагальнили це відкриття Густав Кірхгоф і Роберт Бунзен. Усього Кірхгоф виміряв положення декількох тисяч фраунгоферових ліній у спектрі Сонця і встановив їхню тотожність з емісійними лініями десяти «земних» хімічних елементів. Узагальнюючи величезний експериментальний матеріал, Кірхгоф сформулював фундаментальний закон електромагнітного випромінювання: відношення випромінювальної і поглинальної здатностей тіла не залежить від його природи і для всіх тіл є функцією температури та довжини хвилі.

Так і були закладені основи *астрофізики* (цей термін введено 1865 р.) – науки про фізичну будову небесних тіл. І дуже швидко вона святкувала свою першу перемогу. Спостерігаючи 1868 р. спектр Сонця, англійський астроном Джозеф Норман Лок'єр (1836–1920) виявив у ньому яскраву жовту лінію поблизу лінії D натрію. Невідомий елемент, якому належала ця лінія, отримав назву гелій, тобто «сонячний». І лише 1895 р. гелій було знайдено на Землі під час дослідження спектрів окремих мінералів.

Класифікація спектрів зір. Порівняльне вивчення спектрів зір розпочав ще Фраунгофер. У 1817 р. він виявив у спектрах декількох зір, зокрема Сиріуса і Кастора, темні лінії, положення яких де в чому було інакшим, ніж у спектрі Сонця. Ще одним із піонерів використання спектрального аналізу для вивчення зір був італійський астроном Джованні Баттіста Донаті (1826–1873), який отримав спектри 13 яскравих зір (1862 р.) і який зробив висновок, що вигляд спектра зорі певним чином залежить від її кольору.

Невдовзі У. Хеггінс, дослідивши спектри понад 20 зір, уже 1863 р. встановив, що в речовині зір є ті ж хімічні елементи – водень, натрій, кальцій, магній і залізо, що й на Землі та Сонці.

Зі зростанням числа вивчених спектрів зір виникала потреба їх класифікації. І вже 1862 р. американський астроном Л. Резерфорд розділив спектри яскравих зір на три групи: 1) з лініями і смугами, 2) такі, як у Сиріуса, і 3) такі, як у Спіки та Рігеля. Ґрунтовнішу класифікацію запропонував А. Секкі, виділивши групу «білих зір», в спектрах яких мало ліній металів, групу «жовтих зір», подібних до Сонця, групу «червоних зір» типу Антареса, в спектрах яких видно декілька темних смуг, і, нарешті, групу «інтенсивно червоних зір»,

в яких у червоній ділянці спектра є широкі темніші смуги. Усього до 1868 р. Секкі дослідив спектри близько 4000 зір. Фогель, обговорюючи проблему класифікації спектрів зір, висловився так: «Раціональна класифікація зір за їхніми спектрами, очевидно, може бути отримана лише виходячи з тої точки зору, що фаза розвитку конкретного небесного тіла в загальному відображена в його спектрі». Ця дуже глибока думка, однак, на той час не мала теоретичного обґрунтування... Фогель ділив зорі на три класи: сильно розігріті, жовті і червоні. У 1883 р. він опублікував перший каталог спектрів, що містив 4051 зорю до $7,5^m$ у смузі неба за схиленням δ від $+20^\circ$ до -1° .

Особливо відзначився американський астроном, медик за фахом, Генрі Дрепер (1837–1882), який багато часу витратив на шліфування дзеркал (усього він виготовив їх близько ста) і на спостереження різних об'єктів неба. У 1864 р. опублікована його монографія про те, як виготовити телескоп з посрібленим дзеркалом (саме за допомогою таких інструментів він і вивчав небо). У 1872 р. Дрепер вперше сфотографував спектр зорі (це була Вега). Виїхавши для спостереження сонячного затемнення у Скелясті гори, Дрепер захворів запаленням легень і помер у віці 45 років. Після смерті Дрепера його дружина передала всі інструменти і певну суму грошей Гарвардській обсерваторії для завершення роботи над складанням каталога спектрів зір. В його дев'яти томах (1918 – 1924 рр.) було вміщено відомості про зоряні величини і спектри 225 300 зір. При складанні цього «Каталога Генрі Дрепера» розроблено класифікацію спектрів. Спочатку було введено 16 класів, які позначали літерами латинського алфавіту A, B, C, ..., Q. Тоді ж уже згадана Антонія Морі запропонувала позначати *спектральні класи* римськими цифрами від I до XXII, але 1897 р., зменшивши число класів, замінила їх літерами латинського алфавіту: O, B, A, F, G, K, M, N. Інша співробітниця Гарвардської обсерваторії Енні Джамп Кеннон (1863–1941), прийнявши ці позначення, ввела для більшої деталізації поділ на підкласи, наприклад A4, K7 і т. д. Керував цією багаторічною працею Едуард Чарлз Пікерінг (1846–1919).

Певну роль у вивченні спектрів зіграло відкриття 1885 р. швейцарським фізиком Йоганном Бальмером (1825–1898) того факту, що довжини хвиль чотирьох відомих тоді водневих ліній H_α , H_β , H_γ і H_δ можуть бути знайдені з одної формули:

$$\lambda = 3645,6 \frac{n^2}{n^2 - 4} \text{ при } n = 3, 4, 5 \text{ і } 6.$$

Зразу ж доведено, що лінії, виявлені в ультрафіолетових спектрах Веги і хромосфери Сонця Хеггінсом і Дрепером, також підлягають цій закономірності при $n = 7, 8, 9$ і т. д. А в 1896 р. Е. Пікерінг у спектрі зорі ζ Корми виявив серію ліній, яку можна було описати тою ж формулою Бальмера, якщо замість цілих чисел 3, 4, 5, ... використати дробові: $3^{1/2}, 4^{1/2}, 5^{1/2}$. Тоді було висловлено припущення, що ця «серія Пікерінга» належить водневі, який перебуває у незвичайних та невідомих ще умовах. І лише після того як 1913 р. датський фізик Нільс Бор (1885–1962) запропонував свою планетарну модель атома, стало ясным, що серію Пікерінга утворюють атоми один раз іонізованого гелію.

Перші моделі зір. Упродовж усього XIX ст. в астрономів все більше міцніло переконання в тому, що зорі – це велетенські газові кулі, які складаються з тої ж речовини, що й все на Землі. Завдання полягало в тому, щоб вивчити будову їх надр, бо лише знаючи цю будову, можна було б розмірковувати про еволюцію зір.

Важливу роль у становленні теорії внутрішньої будови зір зіграла робота Уільяма Томсона (з 1882 р. він – лорда Кельвін) про конвективну рівновагу суцільного середовища (1862 р.), уявлення про яку він увів, вивчаючи термодинаміку земної атмосфери. Як висловився В. О. Бронштен (1974), «це був перший наріжний камінь, закладений в теорію внутрішньої будови зір».

«Будь-яке суцільне середовище, яке підлягає впливу гравітації, будемо називати таким, що перебуває в конвективній рівновазі, якщо густина і температура розподілені у всьому середовищі так, що поверхні однакової густини і однакової температури залишаються незмінними» у випадку дії на середовище малих збурень. Мова йде про переміщення мас речовини вгору і вниз без теплообміну з навколишнім середовищем так, що притік (або відтік) енергії до кожної одиниці маси $dQ = 0$. При цьому **адіабатичному процесі** існує такий зв'язок між тиском p і густиною ρ , яким описується стан речовини: $p = \text{const } \rho^\gamma$, де $\gamma = C_p/C_v$ – відношення питомих теплоємностей при сталих тиску і об'ємі.

Кельвін довів, що це співвідношення можна узагальнити на випадок, коли $dQ \neq 0$, якщо лише величина притоку (чи відтоку)

тепла буде пропорційною зміні температури, тобто якщо $dQ = cdT$. При цьому замість γ слід прийняти величину $\gamma' = \frac{C_p - c}{C_v - c}$. Зміни стану газу, що описуються узагальненими таким чином співвідношеннями, прийнято називати *політропами*. Виявилось, що зручніше використовувати *індекс політропи* $n = \frac{1}{\gamma' - 1}$.

Це і дає можливість записати співвідношення між тиском p і густиною ρ у вигляді $p = K\rho^{1+1/n}$, де K – стала величина.

Наступний крок зроблено у статті американського фізика Джона-тана Гомера Лейна (1819–1890) «Про теоретичну температуру Сонця при гіпотезі газоподібної маси, яка зберігає свій об'єм за допомогою внутрішнього тепла і є залежною від газових законів, відомих із земних експериментів» (1869 р.). Тут вперше показано, що великі газові кулі – Сонце і зорі – перебувають у рівновазі за рахунок зростання тиску в напрямі до їх центрів. Відповідно це означає, що з глибиною зростає густина і температура речовини зорі. Тоді ж Лейн виявив, що «при однорідному розширенні (або стиску) газової кулі тиск, густина і температура в кожній її точці змінюються відповідно обернено пропорційно четвертому, третьому і першому степеневі відношення початкового і кінцевого значення відстані елемента газу до центра зорі», тобто z_1 і z_2 , що еквівалентне відношенню початкового і кінцевого радіусів: R_1/R_2 .

Тим же шляхом, але цілком незалежно, йшов і німецький фізик Георг Август Ріттер (1826–1908). У 1878 р. він довів таку теорему: «Якщо газова куля однорідно розширюється (або стискається), переходячи через послідовність рівноважних конфігурацій, то речовина у кожній точці зазнає політропних змін, які визначаються показником $\gamma' = 4/3$ або $n = 3$ ». Ріттер також вивів формулу для визначення *потенціальної енергії* зорі Ω :

$$\Omega = -\frac{3}{5-n} \frac{GM^2}{R}.$$

Тут M і R – відповідно маса й радіус зорі. Як відомо, потенціальною енергією зорі названо роботу, яку необхідно виконати, щоб «розпилити» речовину зорі, перетворивши її у газову хмару. Очевидно, що коли зоря формується при стискуванні фрагмента

такої хмари, то при цьому потенціальна енергія виділяється, сам же цей процес зветься *гравітаційним стискуванням* хмари (чи протозорі).

Ріттер виявив, що коли при повільному стискуванні розподіл параметрів у надрах зір описується індексом політропи $n = 3$, то у випадку одноатомного газу ($\gamma = 5/3$) при гравітаційному стискуванні зорі половина енергії затрачається на розігрів речовини її надр, друга ж половина випромінюється.

Тоді ж Ріттер встановив, що якщо газову кулю вивести з положення рівноваги, то вона буде пульсувати (розширюватися і стискуватися), причому період пульсації P обернено пропорційний кореневі квадратному з середньої густини зорі $\bar{\rho}$, так що $P\sqrt{\bar{\rho}} = \text{const}$.

Підсумок усієї роботи з аналізу властивостей однорідних (інша їхня назва – *гомогенних*) газових конфігурацій, що перебувають у стані механічної рівноваги, було підведено у монографії «Газові кулі» (1907 р.) швейцарського астрофізика Роберта Емдена (1862–1940). У ній викладено результати обчислень моделей зір, тобто розподілу тиску p , густини ρ і температури T від центра зорі до її поверхні при різних значеннях індекса політропи n . Як виявилось, наближено можна приймати, що Сонце і подібні на нього зорі «є політропами індекса $n = 3$ ».

Було встановлено, що зорю, яка перебуває у стані конвективної рівноваги, можна описати індексом $n = 1,5$. Випадок $n = 0$ відповідає нестисливій речовині, індексом $n = 1$ наближено описується будова надр Землі (для твердих тіл у першому наближенні можна прийняти залежність $p \sim \rho^2$). Знайдено, що чим більшим є індекс політропи n , тим більшою буде концентрація маси до центра зорі. Так, при $n = 1,5$ (конвективна модель) густина в центрі моделі ρ_c в 5,99 раза більша за середню густину зорі $\bar{\rho} = \frac{3M}{4/3\pi R^3}$. Якщо ж $n = 3$, то $\rho_c = 54,2\bar{\rho}$, а при $n = 5$ отримано $\rho_c/\bar{\rho} = \infty$.

З'ясовано було також, що в реальних зоряних моделях $1,5 \leq n < 5$. Однак яке саме n , можна встановити, коли задача про механічну рівновагу зорі розглядається (це вже у наш час) разом з її енергетичною рівновагою.

§ 2. СОНЦЕ: ЗАГАДКИ БУДОВИ І ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Домисли й реальність. Довгий час про фізичну природу Сонця висловлювались найнеймовірніші, наївні судження. Наприклад, Боде 1776 р. стверджував, нібито Сонце – темне, подібне до Землі тіло, що воно частково вкрите рідиною, частково материками, серед яких підіймаються гори, що воно оточено двома атмосферами – одною з пари, другою зі світлої речовини. Плями, на думку Боде, – це тверда темна поверхня, яку ми бачимо через хмари.

Приблизно таких же поглядів дотримувався і В. Гершель. Розроблена ним 1795 р. теорія будови Сонця користувалася визнанням понад півстоліття. Гершель вважав, що саме Сонце – холодне, тверде, темне тіло, оточене двома хмарними шарами, з яких зовнішній, фотосфера («сфера світла») дуже розжарений і яскравий. Натомість внутрішній шар хмар, наче своєрідний екран, захищає центральне ядро від дії жару. Темні плями – це нібито поверхня твердого ядра, яку видно через розриви у хмарах, півтінь же відповідає внутрішньому шарові хмар, який освітлюється зверху. Гершель писав: «З цієї нової точки зору Сонце здається мені надзвичайно величною, величезною та яскравою планетою; очевидно, це перше або, точніше кажучи, єдино первинне тіло нашої системи... найімовірніше, що воно заселене, як і інші планети, істотами, органи яких пристосовані до особливих умов, що панують на цій велетенській кулі». Це, як зауважує А. Паннекук, показує, «наскільки знання з фізики відставали тоді від високого рівня астрономічних знань. Лише з появою вчення про енергію проклав собі дорогу глибший погляд, і тоді у другій половині століття знання про Сонце почали швидко зростати».

Щоправда, встановити агрегатний стан речовини зовнішніх шарів Сонця (та інших зір) вдалося Араго, причому за 30 років перед розробкою Кірхгофом і Бунзенем методу спектрального аналізу. Цей учений експериментально виявив, що світло, яке випромінюють розжарені тверді і рідкі тіла під малими кутами до випромінюючої поверхні, є поляризованим, тоді як для випромінювання нагрітого газу цей ефект відсутній. Побудувавши полярископ, Араго вивчав світло, яке відходить від країв сонячного диска, і дійшов висновку, що фотосфера Сонця перебуває в газоподібному стані. Аналогічний висновок щодо зір Араго зробив на підставі спостережень змінних зір у мінімумі їхнього блиску, покладаючи, що ослаблення світла

змінної зорі обумовлене або її затемненням темним супутником або ж наявністю на її поверхні великої кількості темних плям – в обох випадках до спостерігача приходять промені переважно від краю диска. Для Араго було також очевидним, що протуберанці, методи спостережень яких тоді вже були розроблені, є величезними газовими хмарами, які формуються в атмосфері Сонця.

Оцінки температури поверхні Сонця. Як вже згадано, піонерською тут була стаття Гомера Лейна. В намаганні визначити температуру сонячної поверхні Лейн використав результати експериментів з випромінювання енергії нагрітими поверхнями, однак йому довелося екстраполювати ці дані в бік великих енергій випромінювання. Тому й число $30\,000^\circ$, яке він отримав, було в п'ять разів більше від справжнього. Лейн також оцінив густину речовини сонячної атмосфери і отримав $0,00036 \text{ г/см}^3$, помилившись у 2000 разів (у стільки разів реальне значення густини фотосфери менше знайденого Лейном). Як видно, числа ці були дуже неточними, але ж вони були першими!

Та, як зауважив А.Паннекук, щоб астрофізика змогла стати наукою, теоретична фізика повинна була спочатку розробити цілком надійну та досконалу теорію випромінювання. А це вдалося досягнути лише на початку ХХ ст. Не дивно, отже, що через неозначеність уявлень про загальні закони випромінювання, скажімо, 1870 р. Анджело Секкі визначив, нібито температура сонячної поверхні сягає декількох мільйонів градусів, тоді як французький фізик Клод Пуйє (1790–1868) – «усього 1700° або навіть менше».

Після праць Стефана і Больцмана (встановлення того, що $\epsilon \sim T^4$) до кінця ХІХ ст. вдалося визначити справжнє значення температури поверхні Сонця: вона виявилася близькою до 6000 К.

Дослідження плям і спектра. В ХІХ ст. було отримано конкретні результати при вивченні окремих деталей поверхні Сонця. Так, 1843 р. німецький астроном-аматор, за професією фармацевт, Генріх Самуель Швабе (1789–1875), надіючись знайти планету всередині орбіти Меркурія, на підставі багаторічних спостережень сонячних плям встановив, що в їхній кількості спостерігаються максимуми і мінімуми, які повторюються приблизно через 10 років. У 1852 р. швейцарський астроном Рудольф Вольф (1816–1893) уточнив період сонячної активності (він є в середньому рівним 11,1 року) та увів в

астрономічну практику числа Вольфа $W = k(10g + f)$, де g – число груп сонячних плям, f – загальне число всіх плям, $k \approx 1$ – деякий коефіцієнт. Ним переводять знайдені значення до тих, які отримують за допомогою рефрактора Фраунгофера ($D = 8$ см, 64^\times) – інструмента, на якому Вольф 1849 р. проводив свої перші підрахунки числа плям. Цей інструмент все ще використовують на Швейцарській обсерваторії в Цюріху. Для нього $k = 1$.

Англійський астроном Річард Крістофер Керрінгтон (1826–1875) у 1863 р. встановив, що період обертання Сонця зростає при віддаленні від його екватора, а у вересні 1869 р. він спостерігав явище сонячного спалаху. Тоді ж німецький астроном Густав Шперер (1822–1895) виявив, що перші плями нового циклу з'являються на широтах 25 – 30° , тоді як у наступні роки їхні широти безперервно зменшуються і вони зникають на широті 5° . Він же визначив положення сонячного екватора.

Під час сонячного затемнення 1851 р. російський астроном О. В. Струве (1819–1905) встановив, що утвори, які спостерігаються біля краю диска Сонця, – *протуберанці*, про які говорили, нібито це «рожеві хмари, що плавають в атмосфері Місяця», насправді належать Сонцю. Що вони є виступами тонкої рожевої оболонки – *хромосфери*, яка оточує Сонце. У 1869 р. американський астроном Чарльз Огастес Юнг (1834–1908) довів, що корона Сонця є частиною його ж атмосфери, а не ореолом, який виникає в атмосфері Землі, і що корона має газоподібну природу. Він же на багато десятиліть увів у сонячну фізику поняття «обертаючого шару», який нібито розташований між фотосферою та хромосферою і є дещо холоднішим, ніж фотосфера, завдяки чому в ньому виникають лініїпоглинання. У спектрі сонячної корони Юнг відкрив незвичну зелену лінію ($\lambda = 5303\text{Å}$), що призвело до уявлення про існування певного хімічного елемента «коронія» (лише 1942 р. шведський астрофізик Б. Едлен довів, що цю лінію формують 13-кратно іонізовані атоми заліза).

ПЕРШІ ГІПОТЕЗИ ПРО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ. Уявлення про Сонце як заселену планету, поверхня якої холодна і нагадує земну, могли існувати лише до того часу, доки не було поставлено питання: скільки енергії випромінює Сонце за одиницю часу. І – впливає чи звідси наступне питання: звідки береться ця енергія?

У 1837 р. Джон Гершель і Клод Пуїє незалежно один від одного оцінили кількість тепла, що приходить від Сонця на одиницю земної поверхні за одиницю часу. Гершель, зокрема, підрахував, що теплоти, отриманої Землею за рік, було б досить, щоб розтопити на ній шар льоду товщиною 36 м (оцінка була занижена, бо насправді слід говорити про шар льоду 62 м). І ось ця перша оцінка допомогла сформулювати питання: звідки Сонце черпає таку величезну кількість тепла, бо ж на Землю припадає його одна двохмільярдна частина.

Сформулювавши закон збереження енергії, Роберт Майєр у своїй книжці «Органічний рух у зв'язку з обміном речовин» (1845 р.) вказував, що джерелом енергії на Землі є Сонце: «Потік цієї сили, яка проливається і на нашу Землю, є тою пружиною, що безперервно заводиться і підтримує у стані руху механізм усієї діяльності, яка відбувається на Землі». Далі в «Динаміці неба» (1848 р.) Майєр поставив питання про джерела енергії Сонця. На його думку, Сонце поповнює її за рахунок метеоритів, що випадають на нього. Але, як показали обчислення, таке збільшення маси Сонця (близько 0,01 маси Землі за рік) привело б до щорічного зменшення тривалості тропічного року приблизно на 0,34 с. А оскільки цього не спостерігають, то Майєр допустив, що випромінювання Сонця супроводжується одночасною втратою його маси.

У 1854 р. німецький фізик Герман Гельмгольц (1821–1894) в одній із своїх популярних лекцій висловив припущення, за яким Сонце випромінює частину енергії, яка звільняється при його неперервному стискуванні. Відповідне зменшення радіуса Сонця (30 м за рік) настільки незначне, що його не можна зауважити упродовж багатьох століть. Однак і ця *контракційна гіпотеза* Гельмгольца не оправдала надій. Бо, за обчисленнями, якби Сонце стискалося від дуже великих розмірів до сучасних, то усієї звільненої енергії було б досить, щоб при нинішній світності воно ogrівало Землю усього 23 млн. років.

У 1896 р. французький учений Анрі Беккерель відкрив явище радіоактивності – розпаду ядер важких хімічних елементів, який супроводжується виділенням тепла. Зразу ж було з'ясовано ефективність такого джерела енергії в масштабах Сонця. Обчислення показали, що «чисто радієве» Сонце висвічувало б енергію розпаду радію близько 2 млрд. років, «уранове Сонце» – 3,1 млрд. років. Однак, оскільки період піврозпаду радію дорівнює 1600 років, а урану –

4,55 млрд. років, то «радієве Сонце» висвітило б основну частину своєї енергії усього за декілька тисяч років, «уранове Сонце» було б значно слабкішим від справжнього. Тому, навіть не знаючи, що і те, і друге Сонце, наче велетенська атомна бомба, спалахнуло б зразу при його формуванні, астрономи практично зразу відмовилися розглядати радіоактивний розпад як можливе джерело енергії Сонця і зір. Варте, однак, уваги те, що тут джерело енергії мислиться як внутріатомне. Декілька років ці уявлення розробляв англійський астрофізик Джеймс Хопвуд Джинс (1877–1946), однак залишив їх, оскільки радіоактивність забезпечувала вік Сонця і зір не більше 10^{11} років, тоді як підрахунок Джинсом віку зір з динамічних міркувань (за часом встановлення в Галактиці рівномірного розподілу кінетичної енергії зір) нібито вказували на тривалість їх життя близько 10^{13} років.

У 1897 р. було відкрито електрон. Через три роки після цього Дж. Лармор, а з 1904 р. Джинс найсерйозніше розглядали можливість «анігіляції матерії». Малося на увазі, що дуже швидкий електрон (при швидкості $v \approx c$) зударяється з протоном так, що відбувається цілковита «нейтралізація зарядів», при чому «обидві частинки, природа яких суто електромагнітного характеру, перестають існувати, цілком перетворюючись на енергію». При розрахунках звільненої енергії використовували формулу А. Ейнштейна $E = mc^2$, де m – маса протона (масою електрона нехтується). Тут справді для чисто водневого спочатку Сонця висвічування енергії тривало б $1,4 \cdot 10^{13}$ років. І хоча дуже швидко було зроблено висновок, що в надрах зір температури дорівнюють 20–40 млн. градусів і тому там практично немає електронів, які рухалися б зі швидкостями $v \approx c$, то все ж цю гіпотезу не було зразу відкинуто. Однак це вже відбувалося у ХХ ст.

Фізика Сонця на грані століть. Стислий перелік ряду досліджень з фізики Сонця, проведених у другій половині ХІХ і на початку ХХ ст., варто розпочати згадкою про те, що 1851 р. шотландський астроном (працював у Німеччині) Йоганн Ламонт (1805–1879) виявив періодичні зміни магнітного поля Землі, які збігалися з періодичністю сонячних плям.

Під час повного сонячного затемнення 1878 р. вперше було зауважено подібність форми корональних променів та силових ліній навколо магніта. І в 1869 р. американський астроном Ф. Байджлоу висловив припущення, за яким Сонце і є магнітом. Згодом вже

згаданий американський астроном Дж. Хейл встановив наявність сильних магнітних полів у плямах (1908 р.) та виміряв (1913 р.) загальне магнітне поле Сонця, що узгоджувалося з уявленням, за яким Сонце є намагніченою сферою.

Було встановлено залежність форми сонячної корони від фази циклу активності Сонця: у 1871 р. корона мала приблизно симетричну форму, тоді як 1878 р. (мінімум активності) вона була витягнута уздовж сонячного екватора.

Визначною подією була публікація у 1897 р. американським фізиком Генрі Роуландом (1848–1901) фундаментального атласа спектра Сонця від 2975 до 7331 Å (297,5–733,1 нм), що став основою для астрофізичних досліджень атмосфери Сонця.

І, нарешті, французький астроном П'єр Жюль Сезар Жансен (1824–1907), який був піонером застосування фотографії для вивчення Сонця і впродовж 1876 – 1903 рр. отримав найвищої якості (в Медонській обсерваторії) фотографії поверхні Сонця, виявив на ній грануляцію. Жансен оцінив, що діаметри гранул є в межах від 400 до 1000 км.

§ 3. ПРОБЛЕМИ ЕВОЛЮЦІЇ ПЛАНЕТ І ЗІР

В намаганні дати відповідь на питання про походження Сонця і зір, про походження Землі та всієї планетної системи після «Основ» Ньютона було висловлено багато десятків гіпотез. Тут перелічено найголовніші з них, починаючи традиційно від гіпотез Бюффона і Канта про походження планет.

Гіпотеза Бюффона. У 1748 р. Ж. Бюффон у своїй книжці «Природнича історія» висловив думку, що Земля та інші планети утворилися з уламків, які відірвалися від Сонця при його катастрофічному зіткненні з кометою. Щоб скласти собі уявлення про вік Землі, Бюффон здійснив досліди з охолодження розжарених гарматних ядер різного діаметра. У такий спосіб він обрахував, що охолодження Землі від початкової високої температури до сучасної тривало 75 000 років. Склалося так, що Бюффона звинуватили в безбожництві, його найголовніші тези у січні 1751 р. на засіданні ради Паризького університету були осуджені, сам же Бюффон передав раді письмове зречення від своєї гіпотези. Як видно, запропонована Бюффоном шкала часу значно перевищувала те, що впливало з даних Біблії, якщо їх

розуміти буквально. Однак, не менш важливим було і намагання Бюффона «відділити теологію від механіки». Він, звичайно, визнав на початку своєї праці: «...сила імпульсу, була, звичайно, надана світилам рукою Бога, коли він запускав у рух Всесвіт...» Але далі писав так: «...але оскільки фізиці необхідно в міру можливості утримуватися від звертання до причин, які перебувають поза природою, то мені здається, що цю силу імпульсу у Сонячній системі можна пояснити досить правдоподібно, і знайти причину, ефект якої узгоджується з правилами механіки, і яка не віддаляється від ідей, що відносяться до змін і перетворень, які можуть і повинні відбуватися у Всесвіті».

Звичайно, гіпотеза Бюффона не підтверджувалася ні фактами, ні обрахунками. Бюффон не обчислив імовірність зустрічі комети з Сонцем, він не мав уявлення про величину мас комет (а вони надзвичайно малі). Головне, як це згодом довів Лаплас, викинуті з Сонця згустки речовини не могли рухатися по майже колових орбітах, а, описавши витягнуті еліптичні орбіти, вони повинні були впасти назад на Сонце.

Гіпотеза Канта. Значно ширше підійшов до проблеми розвитку небесних тіл німецький філософ Іммануїл Кант (1724–1804). У своїй «Загальній природничій історії та теорії неба» (1755 р.) Кант висловив припущення, за яким світ спочатку перебував у «найпримітивнішому стані, що настав за небуттям», причому увесь простір спочатку був більш-менш рівномірно заповнений нерухомими холодними твердими частинками. Кант пише: «З найвищою обачливістю я уникав усіляких довільних вигадок. Привівши світ у стан найпростішого хаосу, я для розвитку великого порядку природи не застосував ніяких інших сил, крім сили притягання та сили відштовхування, двох сил, однаково безсумнівних, однаково простих і водночас однаково первісних та загальних. Перша – тепер безсумнівний закон природи. Другу, яка в природознавстві Ньютона не виявляється, може, з такою ясністю, як перша, я приймаю лише за тих обставин, за яких її ніхто не буде заперечувати, саме за найдрібнішого розпаду матерії, як, наприклад, у пари. На цих, таких простих основах я побудував схему, що викладається...»

Але чи людський розум взагалі спроможний з'ясувати, як відбувається розвиток світу? На це питання Кант відповідає ствердно:

«...з усіх предметів природи, для яких шукаємо вихідне начало, походження системи світу та утворення небесних тіл разом з причиною їхніх рухів є той предмет, який раніше від інших можна надіятися ґрунтовно і впевнено дослідити. Причину цього легко бачити. Небесні тіла є круглі маси, отже, мають найпростішу форму, яку лише може мати тіло, походження якого досліджується. Їхні рухи також не ускладнені. Вони є ніщо інше, як вільне продовження раз наданого руху, котрий, поєднаний з притяганням тіла, що розташоване в центрі, стає колоподібним... Мені здається, тут можна було б, мислячи тверезо, сказати без усякої зухвалості: *дайте мені матерію, я побудую з неї світ*, тобто дайте мені матерію, і я покажу вам, як з неї повинен утворитися світ... Не слід тому дивуватися, якщо я насмілюся ствердити, що швидше можна дізнатися про утворення усіх небесних тіл, причину їхніх рухів, походження усієї сучасної світобудови, ніж чітко та повністю висвітлити з механічних основ зародження й розвиток якої-небудь тварини чи гусениці.

Ось ці причини, на яких я ґрунтую своє тверде сподівання, що фізична частина науки про всесвіт у майбутньому може бути доведена до такої у досконалості, до якої Ньютон підняв її математичну частину».

За уявленням Канта, частинки хаосу в перший момент були нерухомі, але «в матерії зразу ж з'являється намагання формуватися». Щільніші елементи за законом всесвітнього тяжіння притягували менш щільних, унаслідок цього утворилися окремі згустки речовини. Під дією відштовхувальних сил (які нібито особливо ефективні, коли речовина перебуває у розпорошеному стані) прямолінійний рух частинок до центра тяжіння змінювався колоподібним. Унаслідок зіткнення частинок навколо окремих згустків формуються як величезні (зоряні), так і набагато менші за розмірами (планетні) системи.

За Кантом, Сонце на ранньому етапі розвитку не мало того жару, який виник на його поверхні після завершення формування.

Що ж до майбутнього цих систем, то Кант пише так: «Минуло, можливо, ряд мільйонів років та століть, перш ніж та сфера організованої природи, у якій ми перебуваємо, досягла довершеності, котру вона тепер має, і, можливо, пройде такий же тривалий період, перш ніж природа зробить такий самий крок у хаосі...». Але: «Ми не повинні, однак, жалкувати за загибеллю світобудови як справжньою

втратою природи... Природа показує, що вона однаково багата, однаково невичерпна у творенні як найвидатніших, так і найнікчемніших творінь, і що сама загибель їх є необхідна тінь у різноманітності її сонць, тому що їх утворення їй нічого не коштує». Тому «цілі світи і системи світів залишають сцену після того, як відіграли свою роль».

І далі: «Чи не можна думати, що природа, яка змогла з хаосу привести себе до закономірного порядку і стрункої системи, буде також спроможна з нового хаосу, у який її кинуло зменшення її рухів, так само легко знову відтворити себе та відновити колишні зв'язки. Без вагання можна погодитися з цим, що після того, як кінцева слабкість обертальних рухів у світобудові повалить усі планети й комети на Сонце, його жар невимірно збільшиться внаслідок змішування цих великих мас... І жар... розсіє ті елементи у тому самому величезному просторі, який вони займали до першого формування природи, щоб пізніше, коли сила центрального вогню, внаслідок майже повного розсіювання його маси, ослабне, повторити з не меншою правильністю, шляхом поєднання притягальних та відштовхувальних сил, попередні витвори та створити нову світобудову».

За Кантом, «пустельний простір може знову ожитися світами та системами світів. Якщо ж ми через всю безмежність простору й часу прослідкуємо за цим феніксом природи, котрий лише для того спалює себе, щоб знову молодим відродитися зі свого попелу, коли звернемо нашу увагу на те, як природа навіть там, де вона розпадається і старіє, невичерпна у нових формуваннях,.. то дух наш, міркуючи про все це, поринає у глибоке здивування...»

Цікаво, що в пошуках конкретних прикладів гальмування обертальних рухів Кант дійшов висновку, що обертання Землі навколо осі сповільнюється припливними хвилями, які виникають на її поверхні під дією притягання Місяця і Сонця, і що аналогічно загальмувалося обертання Місяця навколо Землі. Як відомо, ця думка блискуче підтвердилася дальшими теоретичними дослідженнями.

Ось ще декілька прикладів наукового підходу Канта до окремих проблем, що вимагали пояснення чи осмислення. Він зробив висновок, що кільце Сатурна складається з невеликих за розмірами твердих частинок і що такі кільця можуть бути і в інших планет. Він висловив правильний здогад про природу зодіакального світла, про

відсутність принципової різниці між планетами і кометами. У третій частині своєї праці він вказав на тісний зв'язок між нормами життя і фізичними умовами на планетах, висловив думку, що на деяких планетах (Венері, Юпітері) життя ще може виникнути в майбутньому.

Як і Бюффон, Кант зробив декілька грубих помилок. Сили відштовхування Канта нагадували взаємне розштовхування молекул при зіткненнях. Але такі, постульовані ним сили відштовхування не могли породити коловий рух. І якщо в туманності не було від початку обертального руху, то ніякі внутрішні сили не зможуть їй або зорям, що в ній утворилися, цей обертальний рух надати. У цьому – суть закону збереження моменту кількості руху в ізольованій системі. Але головним у гіпотезі Канта було інше: це була одна з перших спроб створити модель формування Сонячної системи, що поклала початок так званих *небулярних гіпотез*, тоді як гіпотеза Бюффона – класу гіпотез «катастрофічних».

Є, однак, у цьому два моменти. По-перше, згадана книга була надрукована без імені автора. По-друге, у зв'язку з банкрутством видавця тираж її залишився на складі майже не реалізованим. Лише 1763 р. короткий виклад гіпотези Канта був опублікований окремо, і аж 1791 р. друг і учень Канта Й. Гензіхен дав виклад його гіпотези поруч з результатами В. Гершеля. Можна, отже, сказати, що довгий час праця Канта була поза увагою вчених.

ГІПОТЕЗА ЛАПЛАСА. У книжці «Виклад системи світу» (1796 р.) Лаплас популярно, без жодної формули чи рисунка описав закони руху небесних тіл, фізику планет і зір, навів відомості з історії астрономії. У «сьомому зауваженні» (яке у виданні 1796 р. займало три сторінки, у виданні 1824 р. – 14) Лаплас спочатку виклав гіпотезу Бюффона та довів її неспроможність і запропонував іншу гіпотезу про виникнення з первинної туманності одночасно Сонця і планет. І тут спочатку Лаплас перелічує п'ять головних особливостей Сонячної системи, які повинна пояснити теорія:

- 1) планети обертаються навколо Сонця в одному напрямі і приблизно в одній площині; 2) супутники рухаються навколо своїх планет у тому ж напрямі, що й планети навколо Сонця; 3) обертання всіх планет і Сонця навколо своїх осей відбувається у той же бік, і площини їх екваторів мають невеликий нахил до площин їхніх орбіт; 4) ексцентриситети орбіт планет і супутників дуже малі і 5) орбіти

комет, навпаки, мають великі ексцентриситети і будь-які кути нахилу до площини екліптики.

За Лапласом, раніше на місці Сонячної системи була велетенська дуже розжарена туманність, яка повільно оберталася навколо осі, що проходила через її центр. Внаслідок охолодження туманність стискувалася, її кутова швидкість обертання при цьому збільшувалася, сама ж туманність сплющувалася. Відцентрова сила, що діє на матеріальні частинки, досягала найбільшого значення в екваторіальній площині. І як тільки ця сила перевищувала силу тяжіння, від туманності відривалося тонке кільце речовини, яке продовжувало обертатися в тому ж напрямі, що й вся туманність. З часом кожне з таких кілець розпадалося на окремі згустки, які об'єднувалися між собою, утворюючи планети. Аналогічно мали б утворитися і супутники планет. Певним підтвердженням своєї гіпотези Лаплас вважав кільце Сатурна, а головне – зауважені В. Гершелем туманності з яскравими ядрами і неоднаковою концентрацією світла до центра.

Гіпотеза Лапласа задовільно пояснювала ряд закономірностей у планетній системі (перші чотири з перелічених вище). Що ж стосується комет, то, за Лапласом, це тіла, що блукають від одної зорі до іншої. Мовляв, притягання планет і опір міжпланетного середовища деколи змінюють орбіти комет, перетворюючи їх в еліптичні.

Певний час у літературі, особливо науково-популярній, згадувалося, як у відповідь на питання Наполеона «Чому я у вашій книжці ні разу не зустрів імені Бога?», «Лаплас гордо відповів»: «Я не мав потреби у цій гіпотезі!» За іронією долі, гіпотеза Лапласа щодо формування планетної системи зазнала краху, і цей пасаж повертався проти авторів, які його наводили.

Отже, гіпотеза Лапласа виявилася помилковою. І справа навіть не в тому, що за життя ще її творця було виявлено, як два супутники Урана обертаються навколо планети у зворотному напрямі і площини їхніх орбіт майже перпендикулярні площині орбіти самої планети (тепер відомо 15 таких її супутників, та й сама планета Уран обертається у зворотний бік («лежачи»), що такий же зворотній рух мають чотири супутники Юпітера та один супутник Сатурна, що супутник Марса Фобос здійснює один оберт навколо планети майже утричі швидше, ніж вона сама обертається навколо осі, що внутрішній край кільця Сатурна також обертається швидше ніж сама

планета і що, нарешті, Венера обертається у зворотний бік, хоча все це – серйозні труднощі для гіпотези. Головне у тому, що гіпотеза Лапласа не могла пояснити, чому планети, маса яких становить близько 0,15% маси Сонця, мають 98% моменту кількості руху Сонячної системи. Інакше кажучи, Сонце обертається навколо своєї осі занадто повільно. І якби планети були «вкладені» на його поверхню зі збереженням їхнього моменту кількості руху, то лінійна швидкість обертання на екваторі Сонця залишалася б у 7,5 раза меншою за «першу космічну швидкість» безпосередньо біля його поверхні. Відповідно відцентрова сила була б у 55 разів меншою за ту, яка необхідна для відділення кілець. До того ж розігрітий газ не може згущуватися, і кільця, що відділилися б, навіть якби це сталося, розсіювалися б у просторі.

Гіпотеза Фая. У 1884 р. в книжці «Про походження світу» французький астроном Ерве Огюст Фай (1814–1902) виклав свою космогонічну гіпотезу, що була своєрідним відродженням вихорової теорії Декарта. За Фаєм, початковим станом речовини були хаотично розсіяні у просторі частинки типу метеорного пилу, що перебували у безперервному, неупорядкованому русі. Це останнє породжувало локальні завихрення, так що простір поділявся на окремі «вихорові клітини». Непружні зіткнення пилинок призводили до злипання та розігріву частинок. Частина речовини втягувалася в центр вихора, де і формувалося Сонце.

Тут доцільно згадати і декілька гіпотез, що були запропоновані вже у нашому, ХХ ст. Об'єднує їх з уже розглянутими вище те, що вони також виявилися або помилковими, або ж недостатньо обґрунтованими.

Гіпотеза Чемберліна–Мультона. Цю гіпотезу, що зветься *планетезимальною*, висловили у 1900 р. американські вчені Форест Рей Мултон (1872–1952) і Томас Кроудер Чемберлін (1843–1923). За цією гіпотезою планетна система виникла з речовини самого Сонця. Приймалося, що внаслідок істотного зближення іншої зорі з Сонцем стався викид сонячної речовини, яка, отримавши від цієї зорі частину її моменту кількості руху, спочатку закручувалася навколо Сонця. Далі внаслідок охолодження і конденсації газу утворилися дрібні тверді частинки – *планетезимали* (англ. *planet* – планета і *infinitesimal* – нескінченно мала величина), з яких і формувалися

планети та їх супутники. Важливим було те, що розігрів речовини при її злипанні не доводив до розплавлення, а це суперечило майже загальноприйнятій думці геологів, за якою Земля нібито пройшла через вогняно-рідку стадію розвитку.

ГІПОТЕЗА ДЖИНСА–ДЖЕФФІСА. Відомо, що 1901 р. Джинс аналізував гіпотезу Бюффона і маловідомого астронома Бікертона, який висловив таку ж, як і Бюффон, гіпотезу, але замінив комету зорею. Як сказано вище, ту ж ідею детальніше описали 1904 р. Чемберлін і Мультион. Оскільки, однак, вони не дали пояснення походженню систем супутників планет та орієнтації їх орбіт відносно орбіт самих планет, то Джинс 1916 р. запропонував гіпотезу, яка істотно відрізнялася від уявлень Чемберліна та Мультиона. Його праця вийшла з друку 1917 р. і мала назву «Рух мас, що перебувають під дією припливних сил, з подальшим застосуванням до космогонічних теорій». Через два роки він же публікує книгу «Проблеми космогонії і зоряної динаміки» (1919 р.), в якій, як загально визнано, відображено увесь прогрес астрофізики, небесної механіки і математичного аналізу від часів Лапласа до другого десятиріччя ХХ ст.

За Джинсом, декілька мільярдів років тому шлях Сонця перетяла інша, масивніша зоря. Як тільки відстань між ними наблизилася до межі Роша, з вершини припливного конуса поверхні Сонця, наче з вулкана, розпочалося бурхливе виверження речовини. Цей викид за формою був подібний до сигари, оскільки найбільше речовини відділялося від Сонця тоді, коли зоря була найближче до неї. «Сигара» згодом розпалася на окремі згустки так, що з її середньої частини утворилися планети-гіганти. Зоря, що спричинила цю катастрофу, нібито і передала речовині (отже – планетам) наявний в них момент кількості руху, як також – напрям обертання. За Джинсом, орбіти планет спочатку були витягнуті, але завдяки гальмуванню при русі планет через залишки початкової газової речовини вони мали б набувати колової форми. При проходженні планети через перигелій (поки що) еліптичної орбіти на ній під дією Сонця виникали припливні горби, речовина відривалася від планети, з неї в подальшому і формувалися супутники.

Теоретичний розгляд цього питання привів Джинса до висновку, що маса зорі, яка спричинила цей викид речовини, повинна перевищувати масу Сонця принаймні в таке число разів, що дорівнює

кубові найменшої відстані між центрами обох тіл, вираженій у радіусах Сонця. Так, якщо зоря пройшла на відстані $4R_{\odot}$, то її маса мала б бути $32M_{\odot}$. Це врешті-решт привело до висновку, що імовірність такого проходження зорі 10^{-12} – один випадок на тисячу мільярдів. І, отже, – найімовірніше, єдиний у Галактиці. Джинс писав: «Якщо ми візьмемо три пилинки і помістимо їх у великому соборі, то він був би густіше наповнений пилом, ніж простір зорями. Внаслідок цього зорі дуже рідко наближуються одна до одної і майже неймовірно рідким є випадок для двох зір підійти настільки близько, щоб народилися планети. Планети, а також, можна покладати, життя – надзвичайно рідкі у Всесвіті. Ми можемо розглядати це з задоволенням або ні, за нашим вибором».

У 1929 р. англійський геофізик Херолд Джеффріс (1891–1989) в намаганні усунути труднощі з поясненням осьового обертання планет замінив тісне зближення зорі з Сонцем дотичним зіткненням. Викид речовини далі мав би здійснюватися за сценарієм Джинса. Однак турбулентний рух газу, що виник у потоці, призвів до обертання планет, які формувалися після розвалу потоку на окремі фрагменти.

У 1935 р. американський астрофізик Генрі Норріс Рессел (1877–1957) завдав цій гіпотезі нищівного удару. У книжці «Сонячна система та її походження» він показав, що питомий момент кількості руху (що припадає на одиницю маси) у планет у 10 разів більший, ніж його мала б зоря. Вихід з цієї ситуації Рессел бачив у припущенні, що Сонце до зустрічі було подвійною зорею, причому супутник Сонця – зоря-карлик з масою 0,01 сонячної – був нібито розбитий на частини при зіткненні або зближенні із зустрічною зорею. Інший варіант цієї гіпотези розробив англійський астроном Реймонд Артур Літлтон (1911–1995), який поклав, що супутник Сонця був зорею дещо більшою, ніж це приймав Рессел, але, залишивши частину речовини при зближенні або зіткненні із зустрічною зорею, він був викинутий за межі Сонячної системи.

Проблема походження планетної системи не була вирішена ні в ХІХ, ні в першій половині ХХ ст., в ній і тепер є багато нез'ясованих моментів.

Уявлення про еволюцію зір. У другій половині ХІХ ст. вже було складено певні уявлення про еволюцію зір. Так, вже згадуваний Георг Ріттер висловив міркування (воно згодом підтвердилося), що найбільша світність, яку може досягти зоря, визначається величиною

її маси. Розмірковуючи про можливі шляхи еволюції зір, Ріттер поклав, що червоні зорі великих розмірів перебувають на висхідній вітці еволюції, тоді як червоні зорі малих радіусів – на низхідній. Детальніше цю точку зору розвинув Дж. Лок'єр. На його думку, початковим станом речовини, з якої утворилися зорі, був метеорний рій, що завдяки взаємним зіткненням розігрівався і перетворювався в газ. За Лок'єром, початковою стадією розвитку зорі є червоний надгігант типу зорі Антарес, далі зоря перетворюється в оранжевого гіганта (як Альдебаран), пізніше – в жовтого гіганта (як Полярна), у білого гіганта (як Денеб). На вершині еволюції мали б знаходитися зорі, що мають голубий колір (спектральний клас О, як γ Парусів, ζ Корми). Далі потужність випромінювання зір зменшується, а їх колір змінюється у бік червоного: зоря послідовно переходить стадії білоголубої (як Ахернар), білої (як Сиріус), жовтої (як Сонце) і, нарешті, зоря стає червоним карликом, після чого згасає і стає невидимою.

Вперше цю схему Лок'єр запропонував на засіданні Лондонського королівського товариства у 1887 р. і в переглянному вигляді – 1900 р. Далі ця тема була розвинута Генрі Ресселом, який 1913 р. доповів про свої розмірковування і в Лондоні, і в себе, у США: «Якщо розташуємо зорі, що їх ми вивчаємо, в порядку зростання густини, то ми повинні розпочати з гігантських зір класу М і далі прослідкувати ряд гігантів у порядку, зворотному до того, в якому звичайно записуються спектри, до зір класів А і В і далі при все ще зростаючій, хоча вже й повільніше, густині перейти, вниз на послідовність карликів у звичайному порядку зміни спектральних класів, зустрівши на шляху Сонце, до тих червоних зір (знову у клас М), які є найслабкішими з відомих тепер зір».

Інакше кажучи, на діаграмі спектр-світність, одним із творців якої і був Рессел, схему еволюції зір він накреслив так: через зону гігантів горизонтально справа наліво і вздовж головної послідовності вправо вниз. А коли на згаданій діаграмі було виділено зону білих карликів, то еволюційний трек мав би внизу простягнутися справа наліво у цю зону.

Описана Ресселом схема спочатку базувалася на припущенні, що основним джерелом енергії у зорях є гравітаційне стискування. Але, як вже згадано, від початку ХХ ст. услід за Джинсом, астрономи шукали інші джерела енергії зір. Згодом Рессел, ведучи мову про

речовину, за рахунок якої певним чином виробляється енергія, назвав цю «активну» речовину «матерією гігантів» (для зір-гігантів) і відповідно «матерією карликів» (для зір головної послідовності). Річ ясна, щодо природи цієї «активної матерії» ніяких конкретних даних не було. Однак еволюція зорі описувалася так: в зоні гігантів зоря, витрачаючи «матерію гігантів», зміщується вліво і дещо вниз, при виході на головну послідовність вона починає витрачати матерію карликів» і пересувається по ній вниз. Витративши її, зоря зміщується вліво, «знищуючи залишки матерії гігантів».

З початком ХХ ст. успіхи фізики були так значними, що дуже швидко астрономи зуміли з'ясувати і природу джерел енергії, і накреслити схеми еволюції зір, хоча труднощів при цьому було ще багато...

Розділ 17. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОЧНИХ ШЛЯХІВ

Наприкінці ХVІІ ст., з виходом «Основ» Ньютона, планетна система (хоча в ній все ще було багато не повністю з'ясованих питань, як ось проблема її стійкості) стала, як кажуть, достовірним фактом. Загадковим, навпаки, залишався світ зір, і ця його таємничість значно помножилася після винайдення телескопа. Незбагненними і навіть жахаючими здавалися відстані до зір і тоді, коли не вдавалося виміряти їхні річні паралакси, і особливо тоді, коли ці паралакси було виміряно і тим самим підтверджено ці великі відстані.

З часом, і значною мірою – завдяки зусиллям В. Гершеля (не випадково на його могилі написано «*Coelorum perrupit claustra*» – «Він зламав засуви небес»), перед астрономами розкрився черговий уламок істини: Молочний Шлях – це основна частина зір нашої зоряної системи, нашої Галактики, розміри і форму якої їм належало встановити. Було виявлено, що крім зір у Галактиці є найдивовижніших форм туманності. Але й встановлено також, що значна частина об'єктів, які на перший погляд є такими ж туманностями, насправді перебувають далеко за межами нашої зоряної системи і є також велетенськими скупченнями зір – іншими *галактиками*.

І, що найголовніше, – перед астрономами «в увесь зріст» стала **проблема безконечного** – як у просторі, так і в часі. Тим часом, як зауважив Аристотель, «розгляд безконечного має свої труднощі, оскільки багато неможливого постає і з визнання, і з заперечення його існування»...

§ 1. Початки зоряної астрономії

Від ідеї Всесвітнього тяжіння. Як вже згадувалося, одна з перших натурфілософських космологічних гіпотез висловлена Демокритом близько 400 років до н.е. Історик Діоген Лаертський у своїх «Біографіях філософів» писав про Демокріта: «Він твердить, що Всесвіт безконечний...» Вже згадано і Миколу Кузанського, на думку якого Всесвіт не може бути обмеженим у просторі. До цього зводилася і ньютонівська космологія, як це видно з одного із листів Ньютона до Річарда Бентлі: «Мені здається, якби речовина нашого Сонця і планет і вся речовина Всесвіту була рівномірно розсіяна в усьому просторі неба, а кожна частинка володіла б вродженим тяжінням до всіх останніх, і весь простір, по якому розсіяна ця речовина, був скінченим, то речовина зовнішніх частин цього простору завдяки вказаному тяжінню змагала б до всієї речовини всередині і внаслідок цього впала б у середину всього простору та утворила б там одну велетенську сферичну масу. Однак, якби ця речовина була рівномірно розподілена по безконечному простору, то вона не могла б об'єднатися в одну масу, але частина її згущувалася б тут, інша там, утворюючи безконечне число великих мас, розкиданих на величезних відстанях одна від одної у всьому цьому безконечному просторі...»

Отже існування у Всесвіті окремих «зоряних островів» – велетенських зоряних систем є безпосереднім наслідком встановленого Ньютоном закону всесвітнього тяжіння. Шведський філософ Еммануїл Сведенборг (1688–1772), очевидно, першим у своїй праці «Досвід філософії та мінералогії» висловив думку про те, що зорі, більшість яких ми спостерігаємо у вигляді Молочного шляху, об'єднуються в гігантську зоряну систему, причому у безмежному Всесвіті таких систем може бути дуже багато.

Ці уявлення розвинув далі англійський астроном Томас Райт (1711–1786) у своїй книжці «Теорія Всесвіту» (1750 р.). Він підкреслив при цьому, що наша зоряна система має форму диска (щоправда, його книга була переповнена ірраціональними елементами; так, за однією з моделей, Молочний Шлях – це кільце або декілька концентричних кілець з порожниною всередині, куди Райт встановлює «надприродний центр» чи «надприродне око»). Ламберт у «Космологічних листах про будову Всесвіту» (1761 р.) твердив, що Всесвіт – це безмежна «ієрархічна драбина» – безмежна геометрична прогресія

космічних систем. У цій схемі Сонце разом з планетами і кометами створює систему першого порядку. Систему другого порядку творить Сонце разом із багатьма іншими зорями, які обертаються навколо певного масивного центрального тіла. Молочний Шлях, за Ламбертом, – це система третього порядку. На його думку, таких систем у Всесвіті незліченне число, зокрема, це і туманності, що спостерігаються в окремих ділянках неба. Сукупність багатьох молочних шляхів мала б бути системою четвертого порядку і т. д. Ламберт оцінив відстань до зір першої величини (зокрема до Сиріуса) числом 500 000 а. о. За його підрахунками, протяжність Молочного Шляху у 150 000 разів перевищує цю величину, тобто дорівнює 75 млрд. а. о. (1 200 000 світлових років).

Дещо раніше Кант у згаданій вже «Загальній природничій історії та теорії неба» (1755 р.) обговорив форму «туманних зір» та Молочного Шляху, виходячи з певних фізичних принципів, мовляв, ця форма обумовлена їх обертанням. Маючи на увазі туманність Андромеди, Кант доводив, що такі плями світла «можуть бути лише зливою масою багатьох нерухомих зір». Він писав: «Оскільки ці туманні зорі, безперечно, перебувають від нас принаймні так же далеко, як і всі інші нерухомі зорі, то дивними повинні бути не лише їхні розміри – оскільки вони за необхідністю виявляться в багато тисяч разів більшими за найбільші зорі, – але головним є те, що, як самосвітні тіла і сонця, вони при такій незвичайній величині мають дуже тьмане і слабе світло. І природно вважати їх не гігантськими єдиними зорями, а системами з багатьох зір».

Водночас Кант робив застереження щодо об'єктів, в яких туманність і зоря видні разом. Він писав: «Тут нас чекають великі відкриття, ключем до яких повинні стати спостереження».

Однак все це були усього лише здогади, хоча й дуже правильні. Конкретні ж висновки про природу Молочного Шляху й туманностей могли бути зроблені лише внаслідок тривалих та уважних спостережень. Ними ми зобов'язані передусім Гершелеві.

Шлях до безсмертя: Гершель. Маючи 25 років, Гершель написав у листі до свого брата Якоба: «Нам, смертним, досяжні два види щастя або задоволення: перше нам дарують думки, друге – відчуття...» І в іншому листі: «Я люблю діяльність, і мені необхідне заняття: від бездіяльності я стаю хворим, вона мене вбиває»...

Як зауважила А. Й. Єремєєва (1966), в особі Гершеля поєдналися вмільний енергійний спостерігач і глибокий цілеспрямований мислитель. Задум Гершеля не може не вражати. По-перше – оглянути небо, не пропустивши на ньому жодного об'єкта (і це він здійснив чотири рази за свої понад 30 років спостережень). По-друге – на підставі своїх спостережень скласти конкретне уявлення про нашу зоряну систему, про будову (і розвиток!) навколишнього Всесвіту.

В телескоп Гершеля було видно зорі до 15^m . Щоб скласти уявлення про будову нашої зоряної системи, він використав «метод черпків». Провівши уявну площину через середину Молочного Шляху (її прийнято називати галактичною площиною), Гершель підраховував число зір, видимих у телескоп, в кожній з 1083 виділених ним ділянок неба, розташованих на різних кутових відстанях від згаданої площини. При цьому йому довелося мати справу зі зливою зір. Так, за його оцінками, у щільних частинах Молочного Шляху у смузї шириною 2° перед його очима за 15 хвилин проходило понад 116 000 зір.

Проаналізувавши отримані результати, Гершель дійшов висновку, що наша зоряна система – Галактика – має вигляд диска діаметром 5800 і товщиною 1100 світлових років. (Зараз ми знаємо, що Гершель применшив розміри Галактики в 15 разів). Отримані результати він описав у праці «Про будову неба» (1785 р.), головним висновком якої є те, що наш зоряний світ не є безконечним, а ізольованим у просторі як один з «острівців» Всесвіту серед інших таких же, які з огляду на їхню надзвичайно велику віддаленість здаються маленькими «молочними туманностями».

«Ця перша в історії астрономії оцінка розмірів зоряного Всесвіту мала важливе світоглядницьке значення. Не випадково на публікацію Гершеля 1785 р. зразу ж і з захопленням відгукнувся один із найвидатніших мислителів тої епохи, фізик, філософ, астроном Г. К. Ліхтенберг, який зразу зіставив конкретні оцінки Гершеля з космологічною концепцією Ламберта. Завдяки В. Гершелєві уявлення про Молочний Шлях з рангу елементів картини світу перейшло в ранг достовірних знань» (А. Й. Єремєєва, Ф. О. Цицин, 1989).

Оглядаючи зоряне небо, Гершель, як вже згадувалося, відкрив понад 800 подвійних і кратних систем зір. У 1786 р. він опублікував «Каталог тисячі туманностей і зоряних скупчень», у 1789 р. вийшов другий каталог, що містив понад тисячу об'єктів, а в 1802 р. – третій

список з 500 об'єктів. Забігаючи вперед (див. § 3), скажемо, що з більш як 2500 «туманностей» 80% – це далекі зоряні системи – галактики.

У 1785 р. Гершель висловив думку, що у Всесвіті триває народження нових об'єктів. «Матеріалом» для цього нібито є старі скупчення зір, в яких зорі вже настільки зближені, що рухаються крізь атмосфери одна одною. Гальмуючись, зорі падають одна на одну, утворюючи нові тіла, що, зокрема, могло б спричинити явище спалаху нової зорі. Встановивши, що в міжзоряному середовищі є справжні газові туманності, він 1791 р. вже стверджував, що саме ці туманності і можуть бути тим матеріалом, а якого формуються зорі. Зоря утворюється внаслідок стискування туманності, а її маса ще може зростати за рахунок випадання на неї навколишньої речовини. Гершель писав: «Цей погляд проливає нове світло на будову неба. Воно мені тепер уявляється чудовим садом, де міститься величезна кількість найрізноманітніших рослин, які посаджені у різні грядки та перебувають на різних стадіях розвитку; з цього стану речей ми можемо мати принаймні одну користь: можемо наш досвід начебто розтягнути на величезні проміжки часу...»

Гершель не залишив без уваги питання про стійкість зоряних систем, в першу чергу – Галактики. Звичайно, спостережуваний стан Всесвіту для нього – це наслідок розвитку під дією ньютонівського тяжіння. Завдяки силі тяжіння зорі, якщо і були спочатку розсіяні в просторі рівномірно, мали б скупчуватися в групи, форма і величина яких визначаються початковими умовами. Однак Гершель вважає, що крім ньютонівської у Всесвіті діють ще й інші сили. Кожна частинка має здатність притягувати і відштовхувати інші, і ці сили по-різному змінюються з відстанню. Конкретно, Гершель крім ньютонівської допускав існування принаймні ще чотирьох сил, які зменшуються з відстанню за законом $1/r^n$, де $n \geq 1$ і різне для різних сил. Тому, мовляв, на деяких дуже великих відстанях ньютонівське притягання (наприклад, до Сонця) починає відігравати меншу роль, ніж сила відштовхування (від того ж Сонця). Саме ця сила відштовхування, за Гершелем, може відігравати свою роль у збереженні зоряних систем від руйнування за рахунок взаємних притягань.

Ці розмірковування Гершеля сьогодні є цінними для історика науки. Але ще більше привертає увагу те, що обчислюючи кількість зір від m -ої до $(m + 1)$ -ої величини, він помалу усвідомив, що

помилявся, що межі Галактики він сягнути не зумів. Ось як про це писав згодом В. Я. Струве, підсумовуючи свій огляд результатів Гершеля: «Таким чином, ми доходимо висновку, можливо, несподіваного, але безперечного, що система, яку Гершель виклав 1785 р., розсипалася на порох внаслідок подальших досліджень, проведених її творцем, і що сам Гершель залишив її... Пояснення природи Молочного Шляху залишається майже незмінним з часу смерті В. Гершеля. Але мимоволі ставиш питання, чому астрономи в цілому продовжували дотримуватися старої картини Молочного Шляху, створеної 1785 р., хоча її автор, як ми показали, сам цілком її облишив. Мені здається, тому... що це була закінчена система, переконлива завдяки своїй ґрунтовній і точній геометричній стрункості, і, по-друге, її автор цілковито її ніколи не відкидав».

З «Примітки VII» Лапласа. Вартими уваги є і висловлювання Лапласа щодо природи зір у Галактиці. У «Примітці VII» до «Викладу системи світу» Лаплас писав, зокрема: «А тепер кинемо погляд за межі Сонячної системи. Незліченні сонця розсіяні у неохопному просторі на таких величезних відстанях від нас, до сама орбіта Землі була б звідти невидна. Аналогія змушує нас покладати, що і вони є центрами планетних систем... Деякі зорі демонструють дивовижні періодичні коливання кольору і яскравості: коливання ці вказують на наявність величезних плям на їх поверхні, а також на обертання, яке то приховує ці плями від нашого погляду, то знову робить їх видними... Інші зорі з'являлися зовсім раптово і згодом через декілька місяців зникали... Які ж разючі зміни повинні відбуватися на цих велетенських тілах, щоб вони могли спостерігатися з такої далечини! Подумайте, наскільки вони повинні перевищувати все, що ми бачимо на поверхні Сонця, і як переконливо вони доводять, що природа не скрізь і не завжди залишається одною і тою ж...

Самосвітне небесне тіло, що має густину, рівну густині Землі, і діаметр, у 250 разів більший за діаметр Сонця, завдяки силі свого притягання не дасть своєму світлу досягнути нас. Таким чином, можливо, що найбільші самосвітні тіла у Всесвіті саме з причини своєї величини залишаються невидимими...

Очевидно, зорі не лише не розташовані на однакових відстанях одна від одної, але, навпаки, зібрані у різноманітні групи, деякі з них налічують мільярди зір... Наше Сонце і найяскравіші зорі,

можливо, входять в одну з таких груп, яка, очевидно, і охоплює небо, утворюючи Молочний Шлях. Велике число зір, видимих у полі зору потужного телескопа, наведеного на Молочний Шлях, доводить гігантську глибину його, яка більша ніж у тисячу разів перевищує відстань до Сиріуса. Дуже імовірно, що світло, випромінюване більшістю зір, досягає нас лише через багато століть...»

Сказане Лапласом у передостанньому абзаці можна розглядати як передбачення ним різноманітності населення нашої зоряної системи аж до існування у ній чорних дір (див. ч.V, розд. 19, § 3). Що ж стосується його здогадів про глибину Молочного Шляху, то і його число є лише орієнтовним. Бо ж сам В. Гершель, відкривши в Галактиці велетенські хмари дифузної речовини (§ 2), навіть не уявляв, наскільки вона заважає вивченню будови нашої зоряної системи.

Поновна лічба зір. Велике значення для зоряної астрономії, розвиток якої започаткував В. Гершель, мала праця В. Я. Струве «Етюди зоряної астрономії» (1817 р.). У ній він встановив явище поглинання світла у міжзоряному просторі, як також факт зростання числа зір в одиниці об'єму при наближенні до площини Молочного Шляху. Трапилося, однак, те, що більшість астрономів ХІХ ст. була схильна вважати, нібито поглинаюча речовина зосереджується лише в окремих темних туманностях, тоді як весь інший міжзоряний простір є прозорим.

Дуже цінним для статистичних досліджень упродовж багатьох десятиліть залишався каталог «Боннський огляд» (*Bonner Durchmusterung – BD*), складений у 1852–1859 рр. під керівництвом Фрідріха Аргеландера. Цей каталог містить положення (з похибкою до $\pm 0,1'$) і видимі зоряні величини (з точністю до $0,3^m$) усіх зір яскравіших від 9^m від Північного полюса світу до схилення -2° , усього 342 198 зір. Невдовзі Едуард Шенфельд, учень і послідовник Аргеландера продовжив цей каталог до схилення -24° , тобто охопивши всю екліптику. Згодом цю роботу завершено, головним чином, завдяки співробітникам астрономічної обсерваторії в Кордові (Аргентина), а також (незалежно) нідерландського астронома Якобуса Корнеліуса Каптейна (1851–1922). Використавши фотографічні пластинки південної частина неба, отримані в Кейптауні, Каптейн у 1896–1900 рр. опублікував каталог 454 875 зір до 10 -ї величини. Це дало йому змогу вперше кількісно оцінити зміну просторової густини зір з відстанню залежно від їхньої світності і побудувати нову модель Галактики.

У XIX ст. продовжено спостереження на меридіанних колах з метою складання каталогів власних рухів зір. Підсумком тут став «Попередній загальний каталог» (1910 р.) американського астронома Льюїса Босса (1846–1912), що містив положення і власні рухи 6188 зір.

Рух зір у Галактиці. В середині XIX от. виникло питання про особливості руху зір у Галактиці. Поставив його Аргеландер: «Якщо Сонце, як і інші (нерухомі) зорі, рухається, то за яким законом відбувається цей рух. Чи підлягають всі ці незліченні небесні тіла лише їх взаємному притяганню, чи утворюють вони певні системи або підлягають всі вони домінуючій силі тяжіння єдиного великого центрального тіла?» Проаналізувавши відомі йому дані про власні рухи 390 зір, Аргеландер зробив висновок, що «мабуть, у центрі зоряної системи є масивне тіло». Однак він заперечував висловлене Кантом припущення, нібито ним є Сиріус: ця зоря перебуває на кутовій відстані 22° від антиапекса, а коли б Сиріус знаходився у центрі рухів зір (і Сонця), то цей кут повинен би бути близьким до 90° . За Аргеландером, місцем перебування центрального тіла повинне бути сузір'я Персея.

Іншого погляду дотримувався Й. Медлер. У двотомній праці «Дослідження системи нерухомих зір» (1847–1848 рр.) Медлер виходив з припущення про відсутність у центрі нашої зоряної системи масивного тіла. Він розглянув рух зір у полі тяжіння усієї сукупності приблизно рівних за масою зір. Геометричний центр цього руху, за Медлером, є у скупченні Плеяди. Він писав: «Плеяди утворюють гравітаційний центр усього зоряного світу, який включає і кільце Молочного Шляху. Такий центр не є матеріальним тілом великої маси, він є швидше уявним центром тяжіння, відносно якого все загальне притягання зір перебуває у рівновазі. Відсутність масивного тіла у центрі є причиною того, що притягання зростає зі збільшенням відстані до центральної точки. Тою окремою зорею, в якій можна помістити центр тяжіння з великою імовірністю, ніж де-небудь ще, є Альціона». Зорі в Галактиці нібито утворюють систему концентричних кілець, а радіус нашої зоряної системи становить 3648 світлових років, причому Сонце нібито знаходиться поблизу центра Галактики.

Критикуючи ці сумнівні погляди Медлера, професор Казанського університету М. А. Ковальський (1821–1884) розробив метод визначення руху Сонця у просторі, вперше дав математичну постановку

задачі про обертання Галактики. Він встановив, що зорі в галактичному поясі рухаються повільніше, ніж поза ним. Ковальський відкинув гіпотезу Медлера про існування динамічного центра зоряної системи в Плеядах і показав, що при русі зір проявляються значно складніші закономірності, що обумовлені взаємодією зір.

Спіралі Галактики. Ще 1852 р. професор Принстонського університету (США) Стівен Александер висловив припущення, за яким Молочний Шлях – це система спіральних віток, що виходять від центра, в якому знаходиться Сонце, а також усі найяскравіші зорі неба.

У 1900 р. астроном-аматор з Нідерландів Х. Істон опублікував схему, що зображала нашу Галактику як спіральну туманність. Центр цієї системи мав би бути у напрямі сузір'я Лебедя, тоді як Сонце -на одній третині відстані від центра до краю системи. Істон писав, що кільцева модель Галактики «несумісна з сучасним станом наших знань про Галактику як явище», і висловив переконання, нібито немає підстав надіятися на вирішення питання про будову Галактики у близькому майбутньому.

Однак, як зауважив Ч. Уїтні (1971), навіть наприкінці ХІХ ст. найсерйозніші обговорення цієї проблеми опиралися лише на оцінку правдоподібності доказів, тому що фактичні дані були посередніми і досить суперечливими. Ідеї Александера тоді неможливо було ні підтвердити, ні заперечити, сам же Істон, публікуючи свою модель, зауважив, що це лише припущення і що його не слід сприймати буквально.

У 1912 р. Істон опублікував фотографічну карту Молочного Шляху і зробив при цьому таке зауваження: «Картина, яку ми бачимо... цілком заперечує традиційну простоту галактичної зони... Навпаки, ... нас вражає карколомна складність будови значної частини цієї зони».

А проте до з'ясування будови нашої Галактики залишалось вже зовсім мало часу...

§ 2. Близькі туманності й далекі галактики

«**Вогники свічки**». Сучасник Галілея німецький астроном Симон Марій (1573–1624), який, як згадано, запропонував збережені дотепер назви супутників Юпітера – Іо, Європа, Ганімед і Каллісто, був першим, хто звернув увагу на туманну пляму в сузір'ї Андромеди.

Вона, мовляв, «нагадує вогник свічки, на який дивишся вночі здалека через прозору рогову пластинку».

Гевелій вже спостерігав 16 «туманних зір», зокрема чотири – в Козорозі, дві – в Лебеді, три – в Геркулесі, дві – в Скорпіоні. Шість туманностей знав Галлей: крім туманності в Андромеді, також в Мечі Оріона, у Стрільці, Кентаврі, Орлі та Геркулесі. Англійський астроном Вільям Дерхем (1657–1735) склав каталог цих об'єктів і провів їх детальне вивчення. Туманність в Орлі виявилася зоряним скупченням. Щодо інших, то він запитував: «Чи не є ці туманності особливими просторами світла, або, швидше, чи не можуть вони бути, найімовірніше, щілинами або отворами у величезні регіони світла позаду зір» Так виникла чергова проблема – встановити природу туманностей.

У 1733 р. французький учений Жан-Жак Дорту де Меран у книжці «Фізичний та історичний трактат про полярне сяйво» висловив припущення про те, що зорі можуть викидати потоку газу. Згодом цей газ може утворювати хмари велетенських розмірів, які можна бачити з великих відстаней як туманні плями. Він писав: «Врешті-решт, незважаючи на пречудову одноманітність, що царює в природі, у Всесвіті є й страховиська як в малому, так і в великому...»

Новий список туманностей опублікував 1755 р. Н. Лакайль. Він писав: «Перший вид туманностей – не що інше, як білувата ділянка простору без чітких меж, більш-менш світла і часто зовсім неправильної форми; ці плями звичайно подібні до ядер слабких комет, позбавлених хвоста. Другий вид туманностей включає зорі, які здаються туманностями лише неозброєному окові, а в телескоп їх видно як скупчення окремих, але розташованих дуже близько одна до одної зір. До третього типу належать зорі, які справді оточені білими плямами, або туманностями першого виду». Як вже сказано вище, Кант, обговорюючи природу об'єктів типу туманності з сузір'я Андромеди, доводив, що такі плями світла «можуть бути лише зливою масою багатьох нерухомих зір».

При цьому він усвідомлював, що туманності різних типів можуть мати неоднакову природу: «Тут нас очікують великі відкриття... Туманні зорі... повинні бути досліджені та перевірені...»

У 1731 р. англійський фізик і аматор астрономії Джон Бевіс, а через 27 років, у 1758 р. Ш. Мессьє незалежно виявили в сузір'ї

Тельця «білувату витягнуту пляму світла, яка за формою нагадує свічку і не містить з собі зір». Згодом, в середині ХІХ ст. цей об'єкт отримав назву «Краб». У складеному 1781 р. Мессьє каталозі туманностей і зоряних скупчень, в якому налічувалося 109 об'єктів, туманність з сузір'я Тельця займає перше місце. Як з'ясовано вже у ХХ ст., $\frac{1}{3}$ об'єктів цього каталога – далекі галактики.

Усе, тут сказане, – лише маленька частинка того, що було відкрито згодом, того, чим багатий навколишній Всесвіт. Зібрати ж щедрий урожай вдалося Гершелеві...

Туманності – очима Гершеля. «Гершель був першим астрономом, який побачив у вивченні туманностей головний шлях до пізнання будови і навіть розвитку Всесвіту. До досліджень у цьому напрямі він повертався знову й знову протягом більш як 35 років (1783–1818), приділяючи їм найбільшу увагу. Відкривши величезну кількість (понад 2500) нових туманностей і детально вивчивши їх, Гершель справді вперше збагнув деякі істотні риси будови і можливі шляхи розвитку доступної частини Всесвіту. Значення багатьох висловлених ним ідей не могли оцінити його сучасники; важливість деяких своїх відкриттів не зрозумів до кінця (та й не міг зрозуміти в ту епоху) сам Гершель» (А. Й. Єремєєва, 1966).

Гершель першим виявив різноманітність форм туманностей, окремо виділивши «планетарні» та «кометарні». Він допустив існування у міжзор'яному середовищі «самосвітної дифузної матерії» і зауважив: «Може бути, було б надто легковажно твердити, нібито всі молочні туманності, яких так багато на небі, зобов'язані [своїм виглядом] лише світлу зір, [які тут згромадилися]... Ці туманні зорі можуть стати ключем для розгадки інших таємничих явищ».

Вивчаючи Велику туманність Оріона, Гершель зробив висновок, що «світла матерія підходить для неї значно краще, ніж скупчення віддалених зір». У 1802 р. він робить спробу класифікувати туманності з урахуванням їхньої справжньої природи, а не за зовнішніми ознаками. Тому він виділив шість класів: туманності, «зорі з шипами, або зоряні туманності», «молочні туманні утвори», «планетарні туманності» і «планетарні туманності з яскравими центрами». Об'єкти перших двох класів Гершель вважав зоряними системами «типу нашої зоряної системи», які розташовані далеко за межами Галактики. Серед них, на думку Гершеля, найближчою до нас повинна

бути система з сузір'я Андромеди. Він писав: «Я не вважаю потрібним повторювати, що за допомогою моїх спостережень виявлено, що небеса складаються з ділянок, де сонця зібрані в системі».

В іншому місці Гершель пише: «Хоча ми звикли називати Молочним Шляхом частину неба, оточену яскравою зоною, можливо, слід вказати деякі інші надзвичайно цікаві туманності, які не можуть бути менші і, мабуть, набагато навіть протяжніші від нашої власної системи. А оскільки вони також мають витягнуту форму, то мешканці планет, які обертаються навколо зір, що складають ці системи, повинні, як і ми, спостерігати таке саме явище. Тому ці туманності також можуть бути названі молочними шляхами – з маленької літери на відміну від нашої системи». Остання ж, за Гершелем, є лише невеличким острівцем в океані Всесвіту.

Гершель зробив також спробу оцінити відстані до цих далеких молочних шляхів. Узявши за одиницю масштабу відстань Сонце – Сиріус, вважаючи її рівною 6,38 світлового року (насправді – 8,7 св. р.), він оцінив відстань до туманності Андромеди в 2000 відстаней Сонце – Сиріус, фактично вона майже у 100 разів більша. Проте відстані до найслабкіших туманностей (дальших галактик), які йому вдалося бачити, він оцінював цілком правильно – в 1 000 000 світлових років.

Оцінивши відстані до далеких туманностей – зоряних систем, Гершель зовсім справедливо зауважує, що вік цих об'єктів слід вимірювати мільйонами століть, бо ж за допомогою телескопів астрономами зазирають у далеке минуле цих об'єктів: «Такий об'єкт повинен би існувати багато років, щоб ми могли тепер лише виявити його».

Гершель звернув увагу на особливості розподілу туманностей на небесній сфері – нерівномірність і тенденцію до групування: «Я вже невдовзі зауважив, що в одних напрямках туманності виявляються, в інших – ні» і «коли я виявляю одну туманність, я звичайно наштовхувався поруч на ще декілька». Він зробив висновок, що в ряді випадків ці туманності утворюють цілі «пакети» або «нашарування». Інакше – він першим виявив деякі закономірності великомасштабної структури світу туманностей – утворювати велетенські скупчення.

Три останні класи виділених Гершелем туманностей, на його думку, цілком певно не складаються із зір, а є масами дифузної самосвітної речовини, що перебуває в різних станах згущення.

ЗМІНА ПОГЛЯДІВ ГЕРШЕЛЯ. Уявлення Гершеля про природу туманностей упродовж його діяльності дуже змінювалися. У цій еволюції його поглядів виділяють чотири етапи: 1) формування концепції чисто зоряного складу Всесвіту (1783–1790), 2) відкриття дифузної космічної матерії (1790–1802), 3) висновок про перевагу дифузної матерії у Всесвіті (1802–1811) і 4) виділення групи «сумнівних» об'єктів і нова тенденція в їх трактуванні (1814–1818). Тут, безперечно, відзначаючи вплив відкриттів Гершеля на уявлення Лапласа про походження планетної системи, можна стверджувати і зворотний вплив гіпотези Лапласа на Гершеля. Зокрема, в четвертому виданні «Викладу системи світу» (1813 р.) Лаплас писав (у тій же сьомій примітці): «У початковій стадії, яку ми покладаємо для Сонця, воно було туманністю, що складалася, як це видно в телескопи, з ядра, оточеного туманною речовиною. Згущуючись на поверхні ядра, така туманність перетворюється в зорю... Таким є початковий стан туманностей, що їх Гершель так ретельно дослідив за допомогою своїх потужних телескопів... Врешті-решт більш інтенсивна конденсація перетворює всі ці туманності в зорі. Класифіковані на підставі таких міркувань туманності переконливо свідчать про те, що в подальшому вони перетворюються в зорі».

Отже, як бачимо, в перший період своїх досліджень Гершель, очевидно, «перебував під дуже сильним і цілком оправданим враженням свого справді грандіозного відкриття – виявлення загальної форми нашої зоряної системи... за допомогою підрахунку зір у полі зору телескопа. Виявлення при цих дослідженнях систематичної зміни числа зір в полі зору створило в нього дуже обґрунтовану тоді ілюзію повного вичерпання зір Галактики, проникнення аж до її меж. За цих умов всі нерозкладені об'єкти, якщо навіть спостерігались в межах смуги Молочного Шляху, Гершелю здавалися розташованими далеко за межами Галактики» (А. Й. Єремєєва, 1966).

Навіть хоча 1784 р. Гершель зазначив, що туманність Оріона є «непоясненим» явищем, то невдовзі він відніс її до зоряних систем, що перебувають на найдальших мислимих відстанях. Це, однак, вимагало надзвичайної концентрації зір. І – стало одним з перших поштовхів до переосмислення цієї концепції. Зі ще більшими труднощами Гершель зустрівся, намагаючись пояснити природу планетарних туманностей. Урешті-решт він тоді допустив у «планетарних» туманностях

фантастично високу концентрацію зір. Це, мовляв, особливий стан системи зір, своєрідна «Лабораторія Всесвіту», де якраз зорі падають одна на одну «або почергово, або зразу, одним жакливим ударом об'єднуються в нове тіло». Він висловив припущення, чи не такою є природа спалаху нової зорі в Кассіопеї 1572 р. І все ж 1789 р. Гершель, обґрунтовуючи реальність скупчень зір, писав: «...причини, через які ми можемо вважати, що вони складаються з зір, все ще не пояснені».

І ось у листопаді 1790 р. він виявив «туманну зорю» (планетарна туманність NGC 1514 поблизу межі Тельця і Персея, її розміри $3 \times 2,5'$). Після цього Гершель розмірковував «...спочатку не було сумніву, що всі ці явища однаково були спричинені зорями, по різному розкиданими в неохопних просторах Всесвіту». Але що думати про цей новий об'єкт? Якщо туманна оболонка є скупченням звичайних, але далеких зір, то «світність центральної точки повинна небагато перевищувати всі стандарти, які ми пов'язуємо з зорями». А якщо яскрава центральна точка – це звичайна зоря, то світла оболонка мала б бути скупченням якихось фантастично малих за розмірами зір – мікрозір, які не спостерігаються. «Ми, отже, – пише Гершель, – або маємо центральне тіло, яке не є зорею, або маємо зорю, що включена у висвічуючий флюїд цілком невідомої нам природи. Я не можу прийняти жодної іншої думки, крім останньої, оскільки є неправдоподібним існування так великого тіла, яке могло б світити подібно до зорі 8^m на відстані достатньо великій, щоб протяжна система зір набула виду дуже розрідженої молочної туманності». Отже: «Наша думка, яку я насмілюся висловити, буде така, що туманність навколо зорі не є зоряної природи».

Цікаво, що Гершель ніде не говорив про розжарений стан речовини, яка світиться. Світіння туманностей він пов'язував з мерехтінням «електричного флюїда у полярному сяйві», згодом, що там, можливо, «є умови фосфоричного світіння» (конкретно так він говорив щодо туманності Оріона). Щоправда, Гершель тут же додав, що ця ідея фосфоресценції «має не більше як філософський смисл, доки ми не можемо вказати, яким є джерело фосфоресціювання матерії, яке могло б спричинити це неперервне світіння на невимірно величезних просторах». Але – «яке поле нового відкривається тут для наших концепцій!» Він пише: «З доказу існування висвічуючої

матерії можуть впливати ширші висновки. Можливо, було дуже поспішним зробити висновок, що всі молочні туманності, яких так багато на небі, зобов'язані лише світлу зір... Ці туманні зорі можуть стати ключем до розгадки інших таємничих явищ», і, нарешті, висновок: «Якщо ця матерія самосвітна, то вона здається більш придатною для того, щоб самій породити зорю внаслідок згущення, аніж залежати від неї у своєму існуванні». Така речовина, мовляв, під дією сили тяжіння може спочатку згуститися в планетарну туманність, а згодом, стискаючись далі, «в тіло з розмірами зорі».

Отже фактично небулярна гіпотеза була висловлена Гершелем за п'ять років до появи космогонічної гіпотези Лапласа, водночас можна стверджувати і зворотний вплив у подальшому.

В роки 1802–1811, як пише А. Й. Єремєєва, «відкривач нових зоряних всесвітів виявився на деякий час зв'язаним тісними рамками світу дифузних туманностей». У 1811 р. Гершель зробив висновок про виняткову кількість розрідженої туманної матерії в космічному просторі і що вже тому вона відіграє істотну роль не лише в будові, а й у розвитку Галактики. Але дійшло до того, що він більшість невеличких молочних туманних об'єктів вважав згустками дифузної матерії. І, нарешті, після 1814 р. Гершель знову повертається до думки, що на великих відстанях скупчення зір можуть виглядати як туманності. Однак тепер з обережності виділяє групу «сумнівних об'єктів», куди навіть залічує туманність Андромеди, оскільки, мовляв, навіть при спостереженнях за найкращих умов «її світло замість того, щоб розкладатися..., стало ще більше молочним». Так він і залишив природу туманності Андромеди «все ще таємничою». Це можна розцінювати за визнання Гершелем як нескінченності Всесвіту, так і невичерпності форм речовини в ньому...

Праці Дж. Гершеля та У. Парсонса. Починаючи з 1833 р. Джон Гершель упродовж чотирьох років проводив спостереження на мисі Доброї Надії в Африці. Повернувшись до Англії, він опублікував великий том «Результатів астрономічних спостережень, що були проведені 1834–1838 рр. на мисі Доброї Надії», в якому, зокрема, вміщено список (опис) 1708 туманностей, з них 300 – нових, описано Магелланові Хмари. У 1834 р. Дж. Гершель опублікував «Загальний каталог туманностей і зоряних скупчень», що містив 5079 об'єктів.

Заслужують уваги помилкові уявлення Дж. Гершеля щодо здатності речовини світитися. Він стверджував, що газ сам по собі є нездатним випромінювати світло, бо світитися можуть лише тверді частинки. Мовляв, Всесвіт заповнений розрідженою речовиною, яка нездатна світитися, світяться ж тверді і рідкі частинки, що є в туманностях. Дж. Гершель одним з перших висловив думку, що Молочний Шлях є кільцем із зір, всередині якого знаходиться Сонце, – уявлення, яке до кінця XIX ст. було прийняте більшістю астрономів.

Протягом 20 років проводив вивчення туманностей У. Парсонс (лорд Росс). В його телескоп (діаметр дзеркала 183 см) були видні численні деталі окремих туманностей, і Росс зробив висновок, що він бачить в них окремі зорі. Тому невдовзі до зоряних систем були зараховані навіть кільцеподібна (планетарна) туманність з сузір'я Ліри, Крабоподібна туманність і навіть туманність Оріона.

Весною 1845 р. Росс зауважив, що туманність М 51 у сузір'ї Гончих Псів має спіральну форму. Це було відкриттям нового виду астрономічних об'єктів. Аналогічну спіральну структуру він зауважив ще приблизно в 20 інших туманностей. Росс, а вслід за ним інші астрономи допускали, що речовині цих об'єктів притаманний потужний вихоровий рух, який вони намагалися виміряти. Зрештою, Росс висловився з цього приводу так: «У наш час було б безглуздя роздумувати про динамічний стан такої системи – він, очевидно, повинен бути значно складнішим, ніж у звичайних кулястих скупчень, які самі по собі вже є досить складними, їхня подібність до предметів, що пливають у вирі, звичайно, повинна дати імпульс уяві, хоча існування там таких умов неможливе. Ще привабливіша гіпотеза може з'явитися, якщо розглядати орбітальний рух у середовищі, яке чинить опір, але всі ці здогади ведуть у глухий кут».

РЕЗУЛЬТАТИ СПЕКТРАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. Про перші кроки спектрального методу англійський астроном У. Хеггінс писав: «Для астрономів це був справді незрівнянний час найнапруженіших надій і наукових захоплень, бо ледве не кожне спостереження давало той чи інший новий фактор і мало яка ніч не ознаменувалася якимсь відкриттям». І справді, спрямувавши 1864 р. свій спектроскоп на планетарну туманність у Дракони, Хеггінс замість звичного спектра виявив одну яскраву і декілька слабких ліній. Такі ж окремі лінії були виявлені ним і у спектрі великої туманності Оріона. З цього

випливав висновок: ці туманності складаються не з зір, а з розрідженого гарячого газу. І навпаки, світло туманності Андромеди «розклалося в повний спектр», а це означало, що її слід вважати величезною сукупністю зір. Вивчивши спектри близько 60 туманностей і скупчень, Хеггінс довів, що приблизно третина з них є велетенськими згущеннями хоча й розрідженого газу, тобто є туманностями у прямому значенні цього слова, всі ж інші об'єкти складаються з зір.

Важливі дослідження туманностей провів американський астроном Джеймс Едвард Кілер (1857–1900). До 1890 р. він здійснив дуже точні виміри променевих швидкостей туманності Оріона і 13 планетарних туманностей та показав, що за особливостями руху ці об'єкти аналогічні зорям і, отже, належать до нашої Галактики. Згодом Кілер дійшов висновку про існування фізичного зв'язку між туманністю Оріона і зорями, що входять до неї. Здійснюючи огляд (фотографічним методом) усіх яскравіших туманностей з каталога Джона Гершеля, Кілер відкрив дуже багато нових об'єктів і довів, що серед туманностей спіральні форми зустрічаються явно частіше.

ПРОБЛЕМА МОЛОЧНИХ ШЛЯХІВ. Встановлення факту, що багато туманностей типу Андромеди складаються з зір, ще не давало відповіді, де знаходяться ці об'єкти – всередині нашої Галактики чи за її межами. Щоправда, на деякі роздуми наштовхував отриманий Дж. Гершелем результат аналізу розподілу туманностей на небесній сфері: у північній півкулі на $\frac{1}{8}$ площі зосереджена третина всіх туманностей («ділянка Діви»). І всю сукупність туманностей Гершель сприймав як деяку систему, в яку входить і наша Галактика. Ці міркування він виклав у книзі «Горизонти астрономії» (1850 р.). Не дивно, що багато сучасників Дж. Гершеля думали так же. Так, професор Московського університету Д. М. Перевошиков (1788–1880) у 1840 р. писав: «...всі туманні плями є зібраннями незліченної кількості зір, подібні до Молочного Шляху, відстані до них такі великі, що порівняно з ними відстань до найближчої зорі зникає, як і відстань від Землі до Сонця зовсім нікчемна порівняно з відстанню до цієї зорі».

Аналогічно німецький природодослідник Александр Гумбольдт (1769–1859) у третьому зі своїх п'яти «Космосів» (1850 р.) писав: «Всесвіт складається з незліченних «світових островів» і його протилежний берег ніколи не буде досягнутий». Таким був висновок з аналізу наявних на той час каталогів: у північній півкулі неба

налічувалося 2299 туманностей і 152 зоряних скупчення, в південній – 1239 і 236 відповідно. Очевидно, Гумбольдт орієнтувався на працю Дж. Бонда, який, вивчаючи туманність М 31, нібито налічив у ній близько 1500 зір. Гумбольдт оцінив це як «чудове відкриття», проте вже 1851 р. В. Я. Струве у листі йому чітко обґрунтував, що наявними телескопами туманність Андромеди на зорі не розділяється, хоча, мовляв, це не означає, що вона не складається з зір (як зазначено вище, це і було доведене спектральними методами).

Важливим статистичним узагальненням тут була публікація англійським астрономом Йоханом Людвігом Дрейером (1852–1926) «Нового загального каталога туманностей і зоряних скупчень» – NGC (1888 р.), з додатками у 1895 р. (IC I) та 1908 р. (IC II). Каталог налічував понад 13 000 об'єктів.

Склалося так, що, не маючи даних про відстані до цих об'єктів, багато астрономів, зокрема, в спіральних туманностях вбачали формування планетних систем на відносно близьких до нас відстанях, в будь-якому випадку – у нашій Галактиці. Тому й навряд чи дуже дивним був такий висновок англійського астронома Агнеси Кларк у її книжці «Система зір» (1890 р.): «Питання про те, чи є туманності зовнішніми галактиками, ледве чи потребує дальшого обговорення. На нього дано відповідь самим прогресом досліджень. Можна з впевненістю сказати, що ні один компетентний вчений, який має всі наявні докази, не буде дотримуватися думки, що хоча б одна туманність є зоряною системою, порівнянною за розмірами з Молочним Шляхом. Практично встановлено, що всі об'єкти, спостережувані на небі (як зорі, так і туманності), належать до одного велетенського агрегата...»

Та ж неозначеність тривала ще близько 30 років. Зокрема, 1907 р. шведський астроном К. Болін здійснив цілу серію вимірів тригонометричного паралакса туманності Андромеди і «встановив», що відстань до неї усього 19 світлових років. Невдовзі після цього американський астроном Весто Мелвін Слайфер (1875–1969) дослідив спектр цієї туманності і туманності у розсіяному зоряному скупченні Плеяди. Висновок був таким: «Ці спостереження туманності в Плеядах навели мене на думку, що туманність Андромеди й аналогічні спіральні туманності можуть складатися з центральної зорі, оточеної і затемненої клочкуватою і розрідженою матерією, яка сяє відбитим світлом центрального сонця. Ця концепція погоджується зі

спектрограмами туманності Андромеди, а також з оцінкою її паралакса, здійсненою Боліном».

Аналогічну думку відстоював і Дж. Рейнольдс (Англія), який досліджував колір окремих деталей спіральних туманностей: «З точки зору спостережень немає жодних підстав вважати аморфні туманні утвори реальною сукупністю зір; фактично всі дані фотографії свідчать проти цього... Що ж стосується природи спіральних туманностей, то правильніше було б визнати їх поки що непізнаними».

І все ж розгадка настала дуже швидко – наприкінці 1923 р...

§ 3. КОСМОЛОГІЧНІ ПАРАДОКСИ

Причини виникнення парадоксів. «Побудова нової картини світу завжди полягає, зокрема, у заповненні «білих плям» у розумінні Всесвіту... Це обов'язково пов'язане зі значною екстраполяцією відомого за його межі. При цьому дослідники неминуче десь переступають ще невідомі їм, але об'єктивно існуючі межі правильності фундаментальних теорій, що лежать в основі картини світу відповідної епохи. Як наслідок, роблячи якийсь черговий крок у дослідженні Всесвіту, вони раніше чи пізніше стикаються з тим, що дійсність не вкладається у загальноприйнятну картину світу, що факти починають суперечити їй. Якщо ці факти суперечать основним, стрижневим її положенням, то вони сприймаються як щось логічно неможливе, як парадокси.

Таке походження і знаменитих космологічних парадоксів. Витоки деяких із них відносяться до часу формування основ класичної ньютонівської картини світу. Наприклад, висновок про таку фундаментальну властивість моделі світу, як її безконечність, тобто безконечність Всесвіту, був отриманий Ньютоном як спосіб уникнути парадокса: у скінченному зоряному Всесвіті з його законом тяжіння всі тіла за скінченний час повинні були, на думку Ньютона, зібратися в одну масу, «в центрі тяжіння Всесвіту». У безконечній моделі Всесвіту центра немає... і вказаний парадокс, природно, не виникав... Очевидно, це був перший випадок, коли безконечність Всесвіту виявлялася необхідною не із загальних філософських, а з конкретних фізичних міркувань» (А. Й. Єремєєва, Ф. О. Цицин, 1989).

Як знаємо, парадоксом зветься погляд, думка або явище, які несподівано і різко розбігаються зі звичними і загальноприйнятими уявленнями. З логічної точки зору парадокс зовні виглядає правильно,

означаючи дефект у засновках. Космологічні парадокси виникли внаслідок екстраполяції законів класичної фізики на весь Всесвіт. Їх існування давало, зокрема, привід заперечувати ідею нескінченності Всесвіту. Аналіз же цих парадоксів певною мірою сприяв розвиткові астрономії.

ФОТОМЕТРИЧНИЙ І ГРАВИТАЦІЙНИЙ ПАРАДОКСИ. У 1744 р. швейцарський астроном Жан Філіпп Шезо (1718–1751) перший засумнівався в правильності уявлення про безконечність Всесвіту: «Якщо кількість зір у Всесвіті безконечна, то чому все небо не світиться як поверхня єдиної зорі? Чому небо темне? Чому зорі розділені темними проміжками?» Намагаючись пояснити цей *фотометричний парадокс*, Шезо у праці, що до 1774 г. залишалася невідомою, висловив таке припущення: «Найпевніше це пилові хмари заслоняють від нас світло далеких зір. Земним спостерігачам доступні лише промені найближчих світил...»

У 1823 р. цим же питанням зацікавився Генріх Ольберс. Підтримавши гіпотезу про пилові хмари, він, однак, дійшов висновку, що такі хмари поступово нагрілися б далекими зорями і почали б випромінювати стільки світла, скільки поглинають. Таким чином, фотометричний парадокс неминуче приводив до одного з двох висновків: або Всесвіт не є безконечним, або кількість зір у ньому обмежена.

У 1895 р. німецький астроном Х. Зелігер детально проаналізував *гравітаційний парадокс*, на який дещо раніше (1874 р.) звернув увагу його співвітчизник Карл Нейман (1832–1925). Зелігер довів, що уявлення про безконечний простір, заповнений речовиною при скінченній її густині, несумісне з законом тяжіння Ньютона. Інакше кажучи, якщо в безконечному просторі щільність речовини не є безконечно малою, а кожні дві частинки за законом Ньютона взаємно притягуються, то сила тяжіння, що діє на будь-яке тіло, була б нескінченно великою і під її дією тіла отримували б нескінченно великі прискорення.

Для усунення парадокса були розроблені різні гіпотези, зокрема: що 1) загальна маса всіх тіл у Всесвіті скінченна, 2) середня густина речовини у світовому просторі навіть при безконечній масі близька до нуля і 3) закон тяжіння Ньютона є неточним.

Першу гіпотезу відкинув ще Ньютон: у цьому випадку під дією сили тяжіння всі маси утворювали б єдину зоряну систему. Точніший аналіз показав, що за таких умов відбулося б «випаровування» зір,

бо, зближуючись при своєму русі навколо центра системи, зорі одна за одною стримували б швидкості, достатні для того, щоб залишити систему. Це врешті-решт призвело б до її розпаду, тобто до рівномірного розсіяння зір у просторі. При спостережуваній кількості зір парадокс виявився нерозв'язним.

Друга гіпотеза відповідала так званому острівному Всесвіту, запропонованому 1761 р. Йоганном Ламбертом (див. вище). Цю гіпотезу 1921 р. детальніше проаналізував шведський астроном Карл Шарльє (1862–1934). Тут приймається, що $R_1, R_2, R_3, \dots, R_i$ – відповідно радіуси 1-ї, 2-ї, 3-ї, ..., i -ї системи, $N_1, N_2, N_3, \dots, N_i$ – кількість членів, що утворюють цю систему (зокрема, N_1 – кількість зір у 1-й системі, N_2 – кількість членів 1-ї системи, що утворюють систему 2-го порядку і т. д.). При цьому як гравітаційний, так і фотометричний парадокси усуваються, якщо розподіл речовини у Всесвіті задовольняє нерівність $R_i / R_{i-1} > \sqrt{N_i}$.

У цьому випадку світобудова є ієрархічною послідовністю матеріальних систем, розміри яких зростають швидше, ніж їхні маси. Тому середня густина речовини в Галактиці менша, ніж середня густина у Сонячній системі, і т. д. Насправді ж, як про це ще буде сказано (ч. V, розд. 20), Всесвіт у великих масштабах виявився дуже однорідним.

За третьою гіпотезою сила тяжіння мала б зменшуватися з відстанню швидше, ніж це передбачується законом Ньютона. Однак запропоновану Зелігером формулу, аналогічну наведеній раніше формулі Лапласа, не вдалося узгодити з результатами спостережень тіл Сонячної системи.

Обидва парадокси усуваються (їм просто немає місця) в сучасній картині будови Всесвіту, що ґрунтується на загальній теорії відносності.

ПАРАДОКС «ТЕПЛОВОЇ СМЕРТІ» ВСЕСВІТУ. Проблема «теплової смерті» виникла 1850 р., коли німецький фізик Рудольф Клаузіус (1822–1888) у праці «Про рушійну силу теплоти» зробив висновок, що в природі тепло переходить від нагрітого тіла до холодного і що ця фундаментальна закономірність не виводиться з закону збереження енергії, а є цілком незалежним твердженням – другим законом термодинаміки. Таким чином, «стан Всесвіту повинен все більше і більше змінюватися у певному напрямі», причому одна з термодинамічних функцій – ентропія – зростає. Ці уявлення розвинув Уільям

Томсон (лорд Кельвін): всі фізичні процеси у Всесвіті нібито супроводжуються перетворенням світлової енергії у теплоту, у зв'язку з чим відбувається вирівнювання температури Всесвіту. Врешті-решт це призводить до «теплової смерті» Всесвіту – до рівномірного розподілу тепла між тілами Всесвіту, внаслідок чого будь-які процеси стають неможливими.

Якщо перші два парадокси вступали в суперечність з концепцією безконечності простору, то теорія «теплової смерті» заперечувала ідею вічності Всесвіту. Бо ж якщо світ існує вічно, то вирівнювання температури в ньому, а отже і «теплова смерть», повинні були настати давно.

У 1886 Людвіг Больцман висловився так: «Усі спроби спасти Всесвіт від цієї теплової смерті виявилися невдалими...» Щоправда, саме Больцман намагався дати наукове розв'язання проблеми. У 1895 р. він розробив флуктуаційну гіпотезу, за якою Галактика є наслідком статистичної флуктуації (самовільного зменшення ентропії) і що тепер вона нібито поступово повертається до стану порушеної рівноваги. Всесвіт, за Больцманом, – безмежне мертве море, де лише зрідка виникають острівці життя. Відстань до іншої такої ж флуктуації – іншої галактики – мала б бути рівною $10^{10^{10}}$ відстаней до зорі Сиріус.

Гіпотеза Больцмана була критикована, оскільки за нею такі флуктуації мали б бути фантастично рідкими, до того ж в першій половині розвитку флуктуації перебіг процесів був би еквівалентний зворотному ходу часу (перехід від неупорядкованості до порядку). Бо ж другий закон термодинаміки фактично означає необоротність усіх процесів у природі. Це значить, що природа, розвиваючись, ніколи не повторює своїх попередніх станів.

У ХІХ ст. мовилося, що ентропія, збільшуючись, все ж ніколи не досягне максимуму, оскільки Всесвіт у процесі свого розвитку «проходить через незліченну множину внутрішніх станів, причому ця множина має потужність континууму». Або що «будь-яка замкнута система може досягнути максимуму ентропії лише при сталих, незмінних зовнішніх умовах, тоді як гравітація як властивість чотиривимірного простору-часу скрізь у Всесвіті дуже змінна» (Л. Д. Ландау, Є. М. Ліфшиць). Сьогодні ця проблема виглядає інакше. В сучасній моделі Всесвіту на ранній стадії його розвитку температура вже була однаковою в усіх його точках і цей стан деякий

час зберігався при розширенні Всесвіту. Однак згодом діяли певні механізми (з'ясування їх – справа завтрашнього дня), які призвели до формування неоднорідностей густини, до появи звичних для нас форм речовини, що забезпечило згодом можливості перебігу термоядерних реакцій, урізноманітнення світу хімічних елементів, без чого було б неможливим життя на Землі.

Короткі висновки:

Близько двохсот років «від Ньютона до Ейнштейна» стали для астрономії епохою її утвердження, про що влучно сказав Лаплас ось цими словами: «Астрономія в цілому є пречудовим пам'ятником людському духові, найвищим свідченням людського розуму. Людина, піддавшись обману своїх відчуттів і сп'яніла від самозадоволення, довго вважала себе центром, навколо якого звершується весь рух небес... Століття праці, нарешті, зірвали завісу, що приховувала від неї систему світобудови. Тепер відомо, що людина живе на маленькій планеті... Грандіозні наслідки цього відкриття самі по собі можуть бути втіхою для людини, незважаючи на мале місце, відведене їй у Всесвіті, бо в них самих міститься доказ її величі, оскільки вона виміряла небо, маючи для цього лише таку крихітну основу».

І тут можна б відмітити декілька найважливіших результатів:

1) Розроблено й удосконалено методикку виготовлення досить потужних телескопів, як також розбудовано сітку астрономічних обсерваторій.

2) Розроблено нові методи досліджень – фотографічний, фотометричний і особливо спектральний, перший з них став опорою **астрометрії**, усі ж три – **астрофізики**.

3) Розроблено теоретичні методи враховування взаємних збурень в русі небесних тіл (планет, їх супутників), що забезпечило тріумф **небесної механіки** – відкриття восьмої планети Нептун.

4) Переадресовано увагу астрономів від проблем Сонячної системи до світу зір і туманностей (В. Гершель). Як один з результатів **зоряної астрономії** можна відмітити побудову моделі Галактики, з'ясування деяких особливостей руху зір у ній та її обертання в цілому. Виявлено тисячі туманностей і висловлено припущення, що більшість із них є іншими «молочними шляхами», відстані до яких встановити не вдавалося. То ж спростувати сказані В. Гершелем

слова – «Все, що за межами нашої власної системи, вкрите мороком невідомості» – вдалося лише у ХХ ст.

5) Спектральний метод став основним для *практичної астрофізики*, яка добилася важливих успіхів у проведенні спектральної класифікації зір. Теоретична ж астрофізика на підставі аналізу особливостей спектра тої чи іншої зорі розпочала вивчення фізичних умов на поверхнях зір, як також встановлення хімічного складу їх атмосфер і певною мірою – з'ясування особливостей будови зір. Планетна і зоряна космогонія здійснили перші кроки в дослідженні проблеми походження і розвитку небесних тіл.

І це дало змогу з усмішкою згадувати написане французьким філософом Огюстом Контом (1798–1857) у книжці «Курс позитивної філософії» (1835 р.): «Ми нічого не можемо дізнатися про зорі, крім того, що вони існують. Ми уявляємо собі можливість визначення їх форм, відстаней, розмірів і рухів, але ніколи, ніякими способами ми не зможемо вивчити їхній хімічний склад, їхню мінералогічну будову, природу органічних істот, що живуть на їх поверхнях... Я залишаюся при своїй думці, що будь-яке знання істинних температур зір неминуче повинно бути назавжди приховане від нас». Тому, на думку Конта, заняття астрономією – це «марна трата часу, яка не може дати ні корисних, ні цікавих результатів».

Століття, в якому жив Конт, цілковито спростувало його нікчемні як на філософа твердження. Але справжня панорама Всесвіту розгорнулася перед дослідниками вже в ХХ ст.

ЧАСТИНА V. ГОРИЗОНТИ XX СТОЛІТТЯ

Чесно кажучи, ми хочемо не лише знати, як упорядкована природа., але й, наскільки це можливо, досягти мети утопічної і сміливої – дізнатися, чому природа є саме такою. У цьому вчені знаходять найвище задоволення. У цьому полягає прометеївський елемент наукової творчості. Для мене у цьому полягає стала чарівність наукового мислення.

Альберт Ейнштейн

За влучним висловом Е. Хаббла, після винайдення телескопа історія астрономії стає історією розширення горизонтів. Зокрема, за попередні три століття цей горизонт розширився від меж орбіти Сатурна (і близької нібито до неї «сфери нерухомих зір») на декілька тисяч світлових років, перетинаючи зоряні простори нашої Галактики.

Але справжні горизонти розкрилися перед дослідниками у XX ст. Адже тепер встановлено, що наша Галактика – лише невеличка піщинка у безкрайньому Всесвіті, який до того ж розширюється. Виявлено, що доводиться говорити про реальний горизонт, де галактики розбігаються зі швидкістю світла і за який ми у принципі не в змозі сягнути, і горизонт теоретичний, що простягся фантастично далеко за межі нашого домена, а в часі – до 10^{45} с.

Доводиться говорити і про перехрещення горизонтів, коли досліджуються процеси, що відбуваються в надрах зір. Лише в XX ст. доведено глибоку правду слів, сказаних Робертом Емденом: «Дорога до пізнання зір пролягає через атом».

Усе ж це знання отримане за допомогою гігантських телескопів, нових методів реєстрації випромінювання, завдяки принципівим ідеям сучасної фізики, успіхам ракетної техніки і можливостям сучасних обчислювальних машин.

І тут мусимо визнати, що астрономія XX ст. – це справжня злива нових, раніше невідомих фактів, які істотно збагачують картину світу. Це злива «тільки що встановлених чисел», які безперервно уточнюють і для яких все ще немає загальновизнаного «канону» (це стосується навіть величини температури на поверхні Сонця), злива певних емпіричних співвідношень, які в будь-який момент

можуть бути спростовані, уточнені і т. д. А, найголовніше, – це злива нових ідей, що стосуються, зокрема, найпотаємніших першооснов буття – простору й часу, «цеглинок світобудови», зрештою усього того, що раніше вважалося сферою філософії (онтології як її розділу, що як раз і займається питаннями про першооснови буття). Нарешті, астрономія ХХ ст. – це злива раніше незнаних імен. І тут хоч-нехоч доводиться обмежуватися лише їх невеликою частиною і то без належного «розшифрування» та вказівки дати народження.

З усмішкою згадуємо ось цю легенду (чи факт?). У 1879 р. 21-річний Макс Планк (1858–1947) сказав німецькому фізику Філіппу Жоллі (1809–1884), що вирішив займатися теоретичною фізикою. У відповідь же почув: «Юначе, навіщо ви хочете зіпсувати своє життя, адже теоретична фізика в основному вже завершена – чи ж варто братися за таку безперспективну справу?» З знаємо тепер, що лише в ХХ ст. було встановлено як її фундамент, так і зведено її величну будівлю. А водночас – і сучасної астрофізики. У свою ж чергу, дехто, маючи, зрештою, для цього достатньо підстав, ділить астрофізику на дві частини: до спалаху Наднової 1987А у Великій Магеллановій Хмарі і після нього. Загалом же ситуація ще складніша і багатогранніша. І тому цю частину книги – про стан і досягнення астрономії ХХ ст. – думаючи саме про астрономію, доречно розпочати словами А. Ейнштейна та Л. Інфельда з їхньої книги «Еволюція фізики»: «Наші знання тепер ширші і глибші, ніж знання фізика дев'ятнадцятого століття, але такі ж наші сумніви і труднощі...»

Розділ 18. ЗБАГАЧЕННЯ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Упродовж декількох тисячоліть спостереження світил проводились в оптичному діапазоні електромагнітних хвиль неозброєним оком, а з 1609 р. за допомогою телескопів. З середини ХІХ ст. в астрономії використовують фотографічний метод.

З середини ХХ ст. астрономічні спостереження ведуть в усіх діапазонах електромагнітних хвиль – від низькочастотного радіовипромінювання до найкоротших гамма-променів. Це, якщо не рахувати радіо- і частково інфрачервоного діапазону, стало можливим завдяки розвитку космічної техніки і нових технологій, завдяки появі нових, специфічних методів та апаратури, які часто дуже відрізняються від традиційних наземних засобів і методів.

Все ще важко оцінити можливості, які відкриваються перед астрономами завдяки освоєнню принципово нових каналів інформації – нейтринної та гравітаційно-хвильової астрономії. Певні підстави для оптимізму тут вже є. Водночас – і підстави для своєрідного песимізму. Адже не виключено, що наш зоряний світ занурений в «густий субстрат», складові якого в принципі не можуть бути зареєстровані і вивчені відомими сьогодні в фізиці методами.

Теоретична астрофізика ХХ ст. зароджувалася з відомої ідеї Макса Планка про випромінювання електромагнітних хвиль окремими порціями і його ж формули розподілу енергії у випромінюванні *чорного тіла*. Зокрема, з цієї формули при відносно низьких температурах і великих довжинах хвиль випливала вже відома тоді *формула Релея–Джинса*, за якою інтенсивність випромінювання I_ν з одиниці поверхні тіла, нагрітого до температури T , змінюється з частотою ν за законом $I_\nu \sim T\nu^2$. Інтегрування ж I_ν по всіх частотах дає вже згадану *формулу Стефана–Больцмана*. Згодом таке випромінювання було названо *теповим*, оскільки розподіл швидкостей руху частинок, взаємодія яких обумовлює його появу, описується відомою *формулою Максвелла*.

Однак, як доведено, у природі реалізуються й інші варіанти породження електромагнітних хвиль – діють *нетеплові механізми*. Вперше це виявилось після того, як у 1942 р. Гроут Ребер (США) склав радіо-карту неба. Аналіз, проведений у 1950 р. Х. Альвеном і Н. Герлофсоном (Швеція) і незалежно від них К.Кіппенхойсером (Німеччина), привів до висновку, що джерелом цього випромінювання можуть бути релятивістські електрони, які рухаються у міжзоряних магнітних полях. Таке *синхротронне* випромінювання вже було зареєстроване у прискорювачах частинок, для нього залежність I_ν від ν має вигляд $I_\nu \sim \nu^{-\alpha}$ (для більшості реальних джерел стала $\alpha \approx 0,5 \dots 0,8$), що зовсім інакше, ніж формула Релея–Джинса! І коли б це випромінювання вже не було відоме, можна уявити, скільки неймовірних припущень щодо природи випромінювання Галактики у радіодіапазоні було б зроблено...

Відомо й декілька інших механізмів нетеплового випромінювання. Це – *плазмові коливання*. Його запропонував у 1946 р. Й. С. Шкловський для пояснення сплесків радіовипромінювання Сонця. Є *зворотний Комптон-ефект* – збільшення частоти фотона при його зіткненні

з релятивістським електроном. Є і *перехідне випромінювання*, яке виникає при переході електричного заряду через межу двохсередовищ. Цю теорію розробили у 1945 р. В. Л. Гінзбург і І. М. Франк (Росія).

§ 1. ОПТИЧНА АСТРОНОМІЯ

Двадцяте століття давно вже названо золотим віком астрономії. Щоб проілюструвати це, немає навіть потреби говорити про можливість, що їх отримано завдяки розвитку ракетної техніки і виходу людини в позаатмосферний простір. Досить ознайомитися лише з наявними вже оптичними телескопами «третього» і «четвертого» поколінь і з фантастичними за точністю методами лічби буквально кожного кванта світла, що приходить до Землі від далекого об'єкта.

ПЕРШІ ТЕЛЕСКОПИ-ГІГАНТИ. Раніше вже згадано про те, як завдяки пожертвуванням американських бізнесменів було збудовано обсерваторії Лікську, Йеркську і Маунт-Вілсон. І тут варта уваги сама особа того, хто вмів переконувати фінансових магнатів у доцільності саме таких дарчих актів, – особа Джорджа Еллері Хейла.

Він був першим директором Лікської обсерваторії, а в 1904 р. розпочав будівництво обсерваторії Маунт-Вілсон, директором якої він був до 1923 р. (пізніше – почесним директором). Тут у 1908 р. було встановлено 150-сантиметровий рефлектор, скляний диск для якого виготовлено у Франції, а шліфовку дзеркала здійснив Джордж Уїлліс Річі (1864–1945, США).

А ось як проводилися спостереження на цьому найбільшому тоді телескопі (П. В. Щеглов, 1980): «Експозиція на 150-сантиметровому телескопі на недосконалих фотопластинках початку століття сягала 10...15 годин. Кожні 1, 5 години Річі виймав касету і заново фокусував телескоп – внаслідок охолодження виготовленого зі скла дзеркала фокус поступово змінювався. Вдень дзеркало охолоджували за допомогою спеціального холодильника (що було в 1910 р. певною новинкою), а башту закривали брезентовим балдахіном для того, щоб телескоп не нагрівся. Дрижання зображення компенсували зміщенням касети; завдяки тривалому тренуванню Річі вдавалося виконувати до чотирьох корекцій за секунду (кожною рукою). Було зроблено тренажер, на якому він вдень удосконалював своє мистецтво. В зубах спостерігач тримав електроконтакт, який дозволяв швидко закрити затвор касети в момент погіршення зображень...»

Таким є «легкий хліб» астронома-спостерігача!

Наступним був 2,5-метровий телескоп тої ж обсерваторії. Гроші на дзеркало Дж. Хейл зумів отримати від промисловця Джона Хукера, на сам інструмент – від фонду Карнегі. Диск знову було замовлено у Франції, шліфував дзеркало Річі. Ось як це описав П. В. Щеглов: «Річі розпочав обробку, яка затягнулася на 6 років, – існувало побоювання, що диск трісне на станку. Нервово напруження в оптичній майстерні було настільки великим, що Річі зіпсував стосунки з більшістю обсерваторських астрономів, а один з його помічників навіть втратив розум...» 2,5-метровий телескоп введено в дію на початку 1918 р. Упродовж 65 років на ньому отримували багатющий матеріал, зокрема – астроном Едвін Поуелл Хаббл (1889–1953, США). (У 1984 р. було прийнято рішення «відправити телескоп на заслужений відпочинок»: у порівнянні з телескопами «нового покоління» він уже був «нерентабельним»).

Закінчивши створення 2,5-метрового, Хейл зразу ж розпочав зусилля по створенню ще більшого інструмента. Було прийнято рішення виготовити з кварцу дзеркало діаметром 5 метрів. До 1931 р., однак, роботу закинули, через два роки її відновили, але вже в новому варіанті: диск вирішили виготовити з пірексу і, для полегшення ваги, з тильного боку зробити ребристим. У першій спробі один із виступів на дні форми відірвався і спливав, зіпсувавши заготовку. Друга (грудень 1934 р.) була вдалою. Весною 1936 р. диск переправлено на місце шліфування, яке здійснив оптик М. Браун. У жовтні 1947 р. дзеркало перевезли на Паломарську обсерваторію, а 12 грудня 1949 р. телескоп, що отримав ім'я Хейла, введено в дію.

Тут слід відмітити, що у 1929 р. Д. Стронг (США) винайшов спосіб алюмініювання дзеркал розпилюванням у вакуумі. Алюмінієвий шар міцніший, ніж срібний, він очищується миттям простою губкою (тоді як до срібного практично не можна дотикатися) і, що дуже істотно, незрівнянно краще відбиває ультрафіолетові промені. Тому приблизно у 1934 р. в дзеркалах усіх великих телескопів світу срібне покриття було замінено алюмінієвим. В наш час сріблом покривають лише дзеркала аматорських телескопів.

В СРСР велику роль у розвитку телескопобудування зіграли праці Д. Д. Максудова (1896–1964), М. Г. Пономарьова (1900–1942) та Б. К. Іоаннісіані (1911–1985). За схемою Д. Д. Максудова збудовано

два великих меніскових телескопи: 50-сантиметровий для Алма-Атинської обсерваторії (1950 р.) і 70-сантиметровий для Абастуманської у Грузії (1955 р.). У 1954 р. прийнято рішення виготовити телескоп з діаметром дзеркала 2,6 м. Цей інструмент, що отримав ім'я Г. А. Шайна (1892–1956), у 1961 р. встановлено в Кримській обсерваторії. На його дублікаті розпочали роботу в Бюраканській обсерваторії у Вірменії у 1976 р.

У 1960 р. в СРСР затверджено ескізний проект 6-метрового рефлектора. Охолодження розплавленої заготовки масою в 70 тонн тривало два роки (температуру знижували зі швидкістю 0,03 К за годину), далі її груба обробка зайняла 16,5 місяця, за цей час «обдерто» понад 23 т скла, витрачено на це 2,4 кг природного алмазу. У 1968 р. закінчено шліфовку, в середині 1974 р. – поліровку дзеркала. У 1975 р. телескоп вже було введено в дію. На відміну від усіх попередніх він встановлений не на паралактичному, а на азимутальному монтуванні. Керування телескопом здійснюється за допомогою ЕОМ. Телескоп встановлено в башті діаметром 44 м. Оскільки фокусна відстань дзеркала 24 м, то при спостереженнях у головному фокусі спостерігач перебуває у верхній частині «труби» в кабіні діаметром 180 см і висотою 226 см.

«Нові покоління» гігантів. «Старі» параболічні рефлектори мали істотний недолік – дуже мале робоче поле зору (для 5-метрового діаметр його становить усього 2,5', для 6-метрового 2', для збільшення діаметра поля приблизно у десять разів – усунення аберації коми – використовують спеціальні коректори). Тому для нового, «третього покоління» використано систему, яку розробили Дж. Річі і французький оптик Анрі Крет'єн (1870–1956). Вона така ж, як і кассегренівська, однак поверхня головного дзеркала є гіперболоїдом обертання. Це дозволяє виправити сферичну аберацію і кому, у декілька разів збільшити поле зору інструмента та істотно зменшити довжину труби телескопа.

Перший телескоп третього покоління встановлено у 1973 р. на обсерваторії Кітт-Пік (США). Це – рефлектор з діаметром дзеркала 381 см. У 1975 р. встановлено 3,9-метровий англо-австралійський телескоп такого ж типу в обсерваторії Сайдинг Спринг (Австралія), у 1976 р. 3,6-метровий західноєвропейський і 4-метровий телескоп США у Чилі, у 1979 р. – британський на Гаваях. У 1986 р. – 4,2-метровий британський на о. Ла-Пальма та Гаваї (на вершині

згаслого вулкану Мауна-Кеа). Це – телескопи з фокусною відстанню близько 11 м і полем зору 40'... 50' (табл. 5).

Таблиця 5.

Найбільші астрономічні обсерваторії світу на 1990 р.

Місцезна- ходження	Висота над рівнем моря, м	Географічні коор- динати		Діаметр головного дзеркала, м	Рік введення в дію
		λ	ϕ		
1. Мауна Кеа Гавайї (США)	4215	-155°28,8'	+19°49,6'	10,0	1990
2. Гора Пас- тухова, Росія	2100	+41 26,5	+43 39,2	6,0	1975
3. Маунт-Па- ломар (США)	1742	-118 03,6	+34 13,0	5,0	1949
4. Ла-Пальма (Іспанія)	2327	-17 52,8	+28 45,5	4,2	1986
5. Лас Кам- пас, Чілі, те- лескоп США	2280	-70 42,1	-29 00,2	4,0	1976
6. Сайдінг- Спринг, Австралія	1149	+49 03,7	-31 16,4	3,9	1975
7. Кітт-Пік, США	2120	-111 36,0	+31 57,8	3,81	1973
8. Калар- Альто, Іспанія	2168	-2 32,2	+37 13,8	3,70	1982
9. Ла Сілья, Чі- лі, (Європ. АО)	2347	-70 43,8	-29 15,4	3,6	1976
10. Бюракан Вірменія	1450	+44 30	+40 20	2,6	1976
11. Крим, Україна	550	+34 01,0	+44 43,7	2,6	1961
12. Маунт- Хонкінс, США	2680	-110 53,1	+31 41,3	4,5	1979

Зважаючи на відстані, з 1981 р. поступово запроваджується дистанційне керування телескопами. Спочатку – зображення з 2,1-метрового телескопа обсерваторії Кітт-Пік (США) передавали на відстань 2720 км. Згодом встановлено таке ж управління телескопами на о. Ла-Пальма, так що спостереження можна

проводити з екрана телевізора, перебуваючи, зокрема, у Гринвічі (точніше у новій обсерваторії Херстмонсо, на відстані близько 70 км від Лондона, куди її було перенесено у 1959 р.). Поступово за допомогою штучних супутників встановлюються зв'язки астрономічних інститутів світу з обсерваторіями, розташованими у відлюдних, малодоступних закутках планети. Це, зокрема, підвищило ефективність використання телескопів, тим більше, що донедавна задовольнялося усього близько 25% заявок астрономів на проведення спостережень.

Загалом наприкінці ХХ ст. у світі налічували 65 телескопів з ефективним діаметром об'єктива, рівним або більшим 1,5 м, близько 70 – з об'єктивами в межах від 1,0 до 1,5 м. У 90-х роках розпочато будівництво телескопів четвертого покоління, зокрема з діаметрами дзеркал від 6,5 до 8,2 м. Йдеться передусім про реалізацію проекту Дуже Великого Телескопа (VLT) з адаптивною оптикою з двох і чотирьох, а в майбутньому з восьми 8-метрових дзеркал, які встановлюють у штаті Арізона (США) на висоті 3200 м. Матеріал, з якого виготовляють дзеркала (з 1993 р. – по одному щорічно) – боросилікатне скло (зеродур). У 1998 р. завершено спорудження телескопа з $D = 8,2$ м Європейської Південної обсерваторії в Північному Чилі на ізольованій гірській вершині Серро-Параналь. Він складається з чотирьох окремих 8,2-метрових дзеркал, які з 2002 р. працюватимуть як єдине ціле. Загалом є принаймні 15 проектів побудови 8-метрових телескопів, за допомогою яких здійснюватимуть фотометричні спостереження зір до 30^m , а спектрофотометричні – до 25^m .

За проектом «Магеллан» у Великобританії будують 8,2-метровий телескоп, у процесі виготовлення якого розроблено технологію відцентрового лиття заготовок в печі, що обертається. Такий же інструмент ($D = 8,3$ м) виготовляють у Японії, є план побудови 12-метрового телескопа у Німеччині. Шведські і датські астрономи проєктують телескоп з еквівалентним діаметром 25 м, він складався б зі 141 однакової форми шестиграних двометрових дзеркал діаметром кожне 2 м. Певний досвід такого будівництва вже є: на Мауна-Кеа вже «спряжено» в єдину систему два 10-метрові телескопи Кека, дзеркала яких складаються з 36 дзеркал, шестикутних за формою і діаметром 180 см кожне.

Побудова цих нових телескопів стала можливою тому, що істотно зменшується (оскільки матеріалом не є скло, а кварц чи сітал) маса дзеркал. Якщо раніше відношення діаметра дзеркала D до його товщини d дорівнювало 5...8, то тепер воно сягає 10 і навіть 20. Великий телескоп встановлюють на азимутальному монтуванні, а керування ним здійснює електронно-обчислювальна машина.

У ХХ ст. збудовано ряд потужних сонячних телескопів, які дають зображення Сонця у великому масштабі. У 1908 р. в обсерваторії Маунт-Вілсон встановлений *вертикальний* або *баштовий* телескоп Хейла (фокусна відстань головного дзеркала 18 м). Через чотири роки там же Хейл ввів у дію 45-метровий баштовий телескоп.

Горизонтальний сонячний телескоп у 1939 р. встановлено у Пулковській обсерваторії, його конструктором був М. Г. Пономарьов. Одним же з найбільших у світі є баштовий телескоп Кримської обсерваторії, на якому можна отримати зображення Сонця діаметром 70 см. Здійснено цей проект під керівництвом А. Сєверного (1913–1987).

Для спостережень сонячної корони тепер широко використовуються *позазатемнювані коронографи*, цей прилад винайшов у 1930 р. французький астроном Бернар Ліо (1897–1952).

Окремим класом інструментів є камери для фотографічних спостережень штучних супутників Землі. Це передусім світлосильна дзеркально-лінзова *камера Бейкер-Нана* (США), діаметр об'єктива і фокусна відстань якої 50 см. Ефективною для згаданих спостережень була і камера АФУ-75 латвійських астрономів М. Абеле і К. Лапушки, її об'єктив складається з семи лінз, має діаметр 20 см і фокусну відстань 75 см.

НОВІ МЕТОДИ І СИСТЕМИ РЕЄСТРАЦІЇ. З середини ХІХ ст. для реєстрації світлових потоків від далеких зір і туманностей використовують фотографічний метод. Оскільки ж чутливість звичайної фотоемульсії найбільша у синій ділянці спектра і зменшується в бік довгих хвиль, то в другій половині ХХ ст. розроблено ряд нових емульсій і методів їх *сенсibiliзації*. Це, зокрема, коротка підсвітка перед експозицією, обробка газом: повітрям, азотом чи формінг-газом (сумішшю 92% азоту і 8% водню) з прогрівом від 56 до 75°C, інший варіант – азотом або воднем з видержуванням при температурі 20°C; обробка рідиною – аміаком чи сполукою AgNO_3 , як також утримування емульсії

певний час у вакуумі або ж її охолодження. З 70-х років в астрономії успішно використовують *кольорову фотографію*.

У 1906 р. Джоуел Стеббінс (1878–1966, США) здійснив перші спроби спостереження Місяця і найяскравіших зір з селеновим фотоелементом, а в 1940 р. він вже отримав криву блиску Алголя, на якій вперше виявлено вторинний мінімум глибиною $0,06^m$. Стало очевидним, що перед фотоелектричною фотометрією – велике майбутнє. Однак фотоелектричні приймачі випромінювання – *фотопомножувачі* – розроблено, а отже і впроваджено до вжитку в астрономії лише з середини 40-х років. Тим часом саме цей метод був придатним реєструвати окремі фотоелектрони (тобто буквально окремі кванти) при дуже малих світлових потоках. З 70-х років фотоелектричним методом здійснюють не менше половини усіх астрономічних спостережень.

З 1949 р. в астрономії використовують *електронно-оптичні перетворювачі* (ЕОП). Вже розроблено різні типи ЕОП, завдяки чому їх застосовують для спостережень у широкому діапазоні електромагнітних хвиль – від інфрачервоних до рентгенівських. В ЕОПі фотоелектрон, вибитий із фотокатода квантом світла, рухається в бік екрана – люмінофора, звідки зображення переводять на емульсію за допомогою лінзи або волоконно-оптичної шайби, яку встановлюють в контакт як з люмінофором, так і фотоемульсією.

В середині ХХ ст. розроблено *прилади фотоелектронного зображення*. Так, французький астроном Андре Лальман (1904–1978) у 1951 р. створив *електронну камеру*, встановивши в ЕОПі замість люмінофора ядерну емульсію. За допомогою такої камери можна у 30–40 разів зменшити експозицію при фотографуванні слабких об'єктів і їхніх спектрів.

З кінця 40-х років зроблено перші спроби спостережень астрономічних об'єктів за допомогою *телевізійних систем*. Поступово удосконалено способи отримання корисного сигналу при використанні трубок типу ортикон, ізокон, видикон, секон, телевізійні системи з лічбою фотонів – камерою типу плюмбікон, камери кремнікон, суперкремнікон, суперкремнікон з ЕОП, для потреб спектроскопії розроблено сканери з ЕОП.

З початку 70-х років в астрономії використовують *твердотільні приймачі випромінювання*, дія яких базується на притаманному всім напівпровідникам явищі внутрішнього фотоєфекту. Це – фотодіодні

матриці з індивідуальним підключенням діодів – *ретикони* та *діджікони*, *прилади з інжекцією заряду* – ПЗІ (*CID – Charge Injection Device*) і *прилади із зарядовим зв'язком* – ПЗЗ (*CCD – Charge Coupled Device*). На кристалі кремнію розміром 20×16 мм розміщують до 245 000 таких комірок. З середини 70-х років в астрономії використовують *фотоелектричні матричні приймачі*. Основою такого приймача є мікроканальна пластинка – набір тісно складених скляних трубочок з діаметрами 10...50 мкм і довжиною у 50...100 разів більшою. Щільність упаковки трубочок сягає $10^6 \dots 10^8$ мм⁻², а діаметри самих пластин – 7 см. До торців трубочок прикладають напругу 1...2 кВ. Через вихідне віконце за допомогою телескопічної системи будують зображення на фотокатоді. Електрони, що виникають внаслідок фотоэффекту, попадають у трубочки через їхні катодні кінці і, ударяючись зі стінками, породжують потоки вторинних електронів, які збираються на аноді – на окремих електродах матричного елемента, під'єданого до лічильного пристрою. Коефіцієнт посилення досягає $10^7 \dots 10^8$, швидкість лічби – до 100 000 подій на 1 мм² за 1 секунду.

Важливу роль в астрофізиці відіграють *світлофільтри*. У 1953 р. американські астрономи Херолд Джонсон (1921–1980) і Уільям Морган (1906–1994) запропонували систему трьох світлофільтрів – ультрафіолетового (*U*), синього (*B*) і жовтого (*V*) – *трикольорову систему UBВ*. З 1959 р. її поступово розширено в інфрачервону ділянку спектра. Тому кажуть про ефективну *одинадцятикольорову систему UBVRІJKLMNQ*, що охоплює ділянку спектра до 20 мкм. Розроблено декілька *середньосмугових фотометричних систем*.

Ефективними, зокрема при дослідженнях деталей сонячної хромосфери, є *інтерференційно-поляризаційні фільтри*. Ряд проблем астрофізики розв'язують за допомогою *інтерферометрів*.

ІНТЕРФЕРОМЕТРІЯ І СПЕКЛ-ІНТЕРФЕРОМЕТРІЯ. Інтерферометрія відіграє серед методів астрономії ХХ ст. дуже важливу роль. Ідею зоряного інтерферометра сформулював американський фізик Альберт Майкельсон (1852–1931) ще в 1890 р. Однак він, у співробітництві Ф. Пізом (1881–1938), успішно реалізував її лише 1920 р. – для визначення діаметра зорі Бетельгейзе. Тоді ж було виміряно кутові діаметри ще декількох яскравих червоних зір. А. Паннекук висловився про це так: «Хоча ці результати не привели до нових відкриттів,

вони продемонстрували важливу перемогу фізичної теорії над обмеженістю техніки».

Можливості цього методу було з'ясовано поступово. І вже у 80-х роках за допомогою інтерферометрів вивчали тонку структуру квазарів, ядер активних галактик, визначали відстані між тісними подвійними, що недосяжне для вивчення звичайними методами. Зокрема, з цією метою розроблено спеціальну установку, яку використовують з середини 70-х років у Національній обсерваторії Кітт-Пік (США) на 4-метровому телескопі Мейолла. Тут розроблено методику реєстрації (і наступного аналізу) миттєвих (з часом експозиції порядку 0,01 с) зображень зорі з подальшим нагромадженням результатів аналого-оптичного опрацювання великої кількості таких спеклграм. У цьому – суть *спекл-інтерферометрії*: звичайно диск зображення зорі є наслідком накладання окремих плямок (англ. *speckles*), що є миттєвими зображеннями світила з близьким до теоретичного розділенням. Якраз миттєва їх реєстрація за допомогою сучасних світлоприймальних засобів дає можливість робити висновки про справжні кутові розміри і структуру джерела випромінювання, якщо кутовий його розмір перевищує теоретичне розділення інструмента.

§ 2. НАЗЕМНІ ПОЗАОПТИЧНІ МЕТОДИ

Упродовж близько 350 років телескопічні спостереження проводили виключно у вузькому оптичному діапазоні, в інтервалі довжин хвиль $\sim 3900 \dots 7600 \text{ \AA}$. З середини ХХ ст. цей діапазон поступово розширено – спочатку в бік радіохвиль, орієнтовно до 100 м ($\nu \approx 10^6 \text{ Гц}$), і невдовзі, з другого боку, в бік рентгенівського до 0,01 \AA ($\sim 10^{20} \text{ Гц} \approx 0,1 \text{ МеВ}$) і гамма-випромінювання (від 0,1 МеВ до 10^{10} МеВ). Закладено основи нейтринної і гравітаційно-хвильової астрономії, досягнуто значних успіхів у дослідженнях корпускулярного випромінювання – *космічних променів*. Значну частину спостережень в позаоптичних діапазонах проводять з поверхні Землі, в інших випадках це здійснюють методами позаатмосферної астрономії (§ 3).

РАДІОАСТРОНОМІЯ. Як відомо, залежно від поставленої задачі в радіоастрономії найчастіше використовують два типи антен: *дипольні антени* і *параболічні рефлектори*. Перший в історії прилад, сконструйований К. Янським, у чомусь нагадував один із оптичних

«повітряних телескопів» XVII ст. Це була споруда діаметром близько 30 м, зведена у формі восьми літер П (чотирьох у два ряди) і скріплена дерев'яними опорами та перекладинами, яка за кожні 20 хв здійснювала, завдяки коліщатам, повний оберт навколо вертикальної осі. А проте це був справжній радіотелескоп з дипольною антеною та автоматичним реєстратором інтенсивності сигналу на довжині хвилі 14,6 м (додатково – на 13 і 15 м).

Зареєструвавши «безперервний свистячий шум невідомого походження», Янський у 1932 р. запідозрив, що «джерело цих шумів якимсь чином пов'язане з Сонцем». Однак після подальших, упродовж року, спостережень стало очевидним, що їхній напрям залишається незмінним у просторі». Янський дійшов висновку, що джерело радіовипромінювання є в напрямі або на центр Галактики або на сузір'я Геркулеса. Правильним виявилось перше.

Два астрономи Гарвардської обсерваторії – Ф. Уїпл (народ. 1906 р.) і Дж. Грінстейн (народ. 1909 р.) – теоретично проаналізували результати К. Янського, однак вони обмежилися констатацією того, що ці радіошуми не пов'язані з Сонцем. Напевне, і в них було своєрідне ставлення до цих проблем, яке згодом сформулював російський астроном О. О. Михайлов (1888–1983) словами «в електриці сидить чорт...» А це було усього лише зародження принципово нового методу досліджень Всесвіту!

Варто додати, що сам К. Янський виявлене ним космічне радіовипромінювання пов'язував із тепловим випромінюванням іонізованого міжзоряного газу. І пройшло більш як десять років, доки з'ясувалося, що це не зовсім так.

Наступний крок у розвитку радіоастрономії зробив американський інженер Гроут Ребер, який у середині 30-х років збудував біля свого будинку параболічний радіотелескоп (діаметр дзеркала антени $D = 10$ м), що був зафіксований у меридіані, але міг повертатися навколо горизонтальної осі. Упродовж декількох років Ребер проводив спостереження на довжині хвилі дещо меншій 2 м, що дало йому змогу накреслити ізофоти радіовипромінювання неба і довести, що це випромінювання приходить до Землі від Молочного Шляху, але найбільше – з трьох його ділянок: з сузір'їв Стрільця, Лебедя і Касіопеї. Було зареєстровано і слабке радіовипромінювання Сонця (незалежно і навіть дещо раніше його виявив К. Янський). Підсумком

цих досліджень були статті Г. Ребера в «*Astrophysical Journal*» 1940 р. (одна) і 1944 р. (дві).

У 1942 р. англійський радіоастроном Дж. Хей зробив висновок, що сильне порушення в роботі радіолокаційної системи, яке трапилося в лютому згаданого року, обумовлене процесами, що відбуваються на Сонці. Як сказано у публікації 1946 р., «ця незвична інтенсивність, що приблизно у 105 разів перевищувала теоретичне випромінювання чорного тіла, очевидно, пов'язана з появою великого сонячного спалаху...» У цьому ж, 1946 р., Дж. Хей, С. Парсонс і Дж. Філіпс, описуючи особливості радіошумів, зазначили, що зміни їх інтенсивності «можуть спричинятися лише невеликим числом дискретних джерел», якраз пошук цих дискретних (точкових або майже точкових) радіоджерел, визначення їхніх координат і ототожнення їх з оптичними об'єктами стали одним з головних завдань радіоастрономії на всі наступні роки. В процесі цих досліджень виявлено декілька типів таких джерел: у Сонячній системі – крім Сонця, це планети Юпітер, Венера, Марс і Сатурн, у Галактиці – туманності, з яких першим у 1949 р. об'єкт Телець А Дж. Болтон і Г. Стенлі (Австралія) ототожнили з Крабоподібною туманністю, а в 1951 р. Р. Мінковський і В. Бааде радіоджерело Кассіопея А – із залишком надвної II типу.

Серед найвідоміших систематичних каталогів радіоджерел – Кембридзький (позначення С), Парксівський (PKS – Австралія), Болонський (В – Італія), Огайський (О – США). Перший Кембридзький каталог (1С) було опубліковано у 1950 р., в ньому наведено координати 50 радіоджерел; у Другому Кембридзькому каталозі (2С, 1955 р.) – 1936 джерел, однак реальних усього 500; у Третньому (3С, 1959 р.) – 471 радіоджерело. Є каталоги 4С, 5С і 6С. Усього виявлено близько 25 000 дискретних джерел космічного радіовипромінювання. У найповнішому каталозі Огайо налічується близько 19 000 джерел.

Серед найбільших радіотелескопів виділяють *радіотелескопи із заповненою апертурою*; це передусім повноповоротні параболічні рефлектори. Найбільшим з інструментів такого типу є радіотелескоп діаметром $D = 100$ м Радіоастрономічного інституту ім. Макса Планка (Еффельсберг біля Бонна, в експлуатації з 1972 р.). Далі, це 91-метровий інструмент Національної радіоастрономічної обсерваторії Грин-Бенк (з 1962 р.) у штаті Вірджинія (США). Однак у листопаді

1988 р. під ударом вітру його антена була зірвана. На цьому місці в 1995 р. споруджено новий радіотелескоп з антеною розміром 110×100 м, у ньому приймач встановлено на кронштейні, який не дотикається самої чаші, завдяки чому вдалося зменшити радіошуми (перешкоди) у 100 – 1000 разів. Пристрої регулювання форми антени дають змогу вести спостереження на коротких хвилях до 3 мм (інші аналогічні антени – усього лише до 2 см).

Прикладом ще кількох інструментів-«ветеранів» є 76-метровий РТ обсерваторії Джодрел-Бенк (Англія) і 64-метровий РТ обсерваторії Паркс (Австралія). Ще також 305-метровий нерухомий рефлектор сфероїдальної форми, який у 1963 р. було встановлено у карстовій западині в Аресібо (о. Пуерто-Ріко, США). Після його модернізації у 1974 р. спостереження (значною мірою – планет) проводять до хвиль 6 см.

До вказаного вище типу залічують деякі напівнерухомі меридіональні РТ, система орієнтування яких дозволяє встановлювати висоту над горизонтом, а спостереження проводити поблизу меридіана. Це, зокрема РТ Крауса (1960 р., штат Огайо, США), в якому радіовипромінювання падає на плоске дзеркало ($79 \times 30,5$ м), відбивається від нього на параболічне (110×21 м) і фокусується ним у рупор. Відстань між дзеркалами 146 м, поверхня між ними металізована, що наче удвічі збільшує розміри системи, реєструються хвилі до 13 см. Ще більшим є РТ такого типу в Нансі (Франція), тут розміри дзеркал відповідно 200×40 м і 305×35 м, реєструють хвилі до 6 см. Сюди належить також кільцевий рефлектор РАТАН-600 діаметром 576 м, 1977 р., ст. Зеленчуцька, Північний Кавказ, Росія), який складається з 895 металічних щитів розміром $2 \times 7,4$ м кожний, спостереження можливі до хвиль 8 мм (конструкція та особливості спостережень дозволяють залічувати цей РТ і до антен з незаповненою апертурою як перископічний інтерферометр з послідовним синтезом).

Успішно використовують і рефракторні антени паралельного синтезу, які найчастіше складаються із синфазних антенних ґраток. Типовим прикладом є РТ в Пущино (Росія), який налічує 16 384 хвильових вібраторів – 256 рядів по 64 вібратори в кожному, працює на частоті $102,5 \pm 1,5$ МГц.

Іншим варіантом РТ стали *антени з незаповненою апертурою*. Серед рефракторних РТ цього типу – «хрест Міллса» (Австралія),

який збудовано у 1953 р. (реконструйовано в середині 60-х років), довжина його синфазних антен 1600 м. Найбільшим у світі є телескоп УТР-2 (1969 р., «Український Т-подібний радіотелескоп другої моделі», Гракове під Харковом), що складається з 2040 широко-смугових вібраторів, розташованих на двох антенних полотнах: одне з них (1880 × 54 м) орієнтоване уздовж меридіана, друге (900 × 54 м) – уздовж паралелі, перше налічує 1440, друге – 600 вібраторів. Працює інструмент в діапазоні від 10 до 25 МГц.

Прикладом РТ цього типу є також кільцевий РТ Дж. Уальда у Калгарі (Австралія): 96 12-метрових параболоїдів, встановлених у формі кільця діаметром 3 км. Прилад забезпечує дослідження сонячної корони на частотах 43, 80 і 160 МГц одночасно.

Системами послідовного синтезу є, зокрема, радіоінтерферометри (PI). Найбільшим тут є введений у дію в 1980 р. PI *VLA – Very Large Array* («Дуже велика антена»). Його встановлено в пустельній місцевості штату Нью-Мексико (США), це – 27 повноповоротних 25-метрових параболічних антен, розміщених у формі літери Y з довжиною двох плечей по 21 км, третього – 19 км.

У 1965 р. М. С. Кардашов, Л. І. Матвієнко і Г. Б. Шоломицький (Росія) запропонували ідею інтерферометра з незалежною реєстрацією і наступним зіставленням сигналу, через два роки в Канаді і США було здійснено перші такі виміри. Дотепер створено близько 50 РТ з діаметром антени понад 15 м, пов'язаних в системи *радіоінтерферометрів з наддалекими базами*. Найбільшою була база PI, що включала РТ Мериленд-Пойнт (США) – Тідбінбілла (Австралія). З 1979 р. одним із РТ інтерферометра є РТ, виведений на орбіту супутника Землі.

Звертаючи увагу на пов'язані з радіоастрономією теоретичні проблеми, доречно згадати повчальну історію, яку розповів Й. С. Шкловський і яка ілюструє важливість нестандартного мислення. Влітку 1944 р. молодий голландський студент Хендрік ван де Хюлст (народ. 1918 р.) теоретично довів, що нейтральний водень може випромінювати в радіодіапазоні на довжині хвилі 21,2 см, що й було згодом (у 1951 р.) підтверджене спостереженнями Х. Юена та Е. Парселла (США) і стало засобом вивчення будови Галактики. Але Й. С. Шкловський провів аналогічні обрахунки і доклав неабияких зусиль, щоб переконати радіоастрономів у 1949 р. провести

відповідні спостереження. Однак на початку 1950 р. всі роботи в цьому напрямі в СРСР було припинено. Бо, як згодом стало відомо, Л. Д. Ландау сказав тоді радіоастроному В. В. Віткевичу: «...такі обчислення може виконати будь-який студент. Але звідки Шкловський взяв густину водню в міжзор'яному середовищі? Це ж чиста патологія...»

Щось подібне трапилося і з випромінюванням молекули OH. Й. С. Шкловський у 1953 р. вказав на можливість реєстрації її випромінювання в лінії 18 см. Однак, незважаючи на його наполегливі прохання, експериментаторам в Нижньоновгородському РФІ «було легше» шукати лінію молекули CN на хвилі 9,45 см. Її вони не знайшли, тоді як у 1963 р. лінії молекули OH виявили співробітники Массачусетського технологічного інституту (США).

Лише передбачення (у 1958 р.) М. С. Кардашова можливості спостереження рекомбінаційних ліній водню в радіодіапазоні (переходи 101 → 100, 102 → 101 тощо) у 1964 р. були реалізовані на РТ Пулково. Варте уваги, що про такі переходи писав у тій же праці Х. ван де Хюлст, однак він, зважаючи на тогочасні технічні можливості, мав на увазі метровий діапазон (переходи типу 341 → 340, 342 → 341...).

ІНФРАЧЕРВОНА АСТРОНОМІЯ. Фактично інфрачервона (ІЧ) астрономія зародилася ще на початку ХІХ ст., коли В. Гершель розпочав спостереження Сонця через по-різному забарвлені темні стекла. Він зауважив, що і в тому випадку, коли скло не пропускає зовсім ніякого видимого оком світла, предмети за ним нагріваються. В іншому експерименті, вимірюючи розподіл температури уздовж спектра, В. Гершель за допомогою термометра виявив, що температура залишається достатньо високою і за червоною межею спектра. Так було доведено існування *інфрачервоного випромінювання*.

Згодом, у 1840 р., Джон Гершель вперше отримав ІЧ-фотографію Сонця. Приймачем випромінювання був папір, просочений спиртом з домішкою сажі. Інфрачервоні промені випарували спирт, і на папері залишилося (щоправда, не дуже чітко) зображення Сонця. Далі, в середині ХІХ ст. лорд Росс вимірював ІЧ-випромінювання Місяця за допомогою термоелемента. Починаючи з 1880 р., за приймач ІЧ-випромінювання використовували звичайний болометр, а з 1961 р. – розроблений Ф. Лоу (США) напівпровідниковий болометр з детектором із германію, легірованого галієм. Розроблено також квантові детектори – фотоопори і фотovoltaїчні елементи. Більшість таких

приймачів ІЧ-випромінювання функціонує в умовах глибокого охолодження (до 2...4 К).

В наш час найширше застосовуються ЕОПи, електроннографічні камери, телевізійні камери з лічбою фотонів та ін. (§ 1). Фактично ІЧ-ділянка спектра – це інтервал хвиль від 7500 Å до 1 мм (0,75... 1000 мкм), який прийнято умовно ділити на чотири окремі частини і для кожної з яких розроблено певні методи досліджень. В шести «атмосферних вікнах» (до 13 мкм) до поверхні Землі доходить 70... 80% ІЧ-випромінювання, і тут можливі наземні спостереження за допомогою, аналогічних оптичним, рефлекторів. З іншого боку, в субміліметрових хвилях вживаються радіотелескопи з прецизійною формою поверхні. І ті, і перші встановлюють якомога вище над рівнем моря.

Серед великих телескопів, призначених для спостережень у близькій ІЧ-ділянці спектра, – 3,8-метровий англійський рефлектор, встановлений у 1979 р. в обсерваторії Мауна-Кеа, і декілька таких же. Для субміліметрових хвиль там же встановлено (у 1986 р.) англо-голландський 15-метровий телескоп, 10-метровий телескоп Каліфорнійського технологічного інституту встановлено на висоті 4267 м. Спостереження в усіх інших діапазонах ІЧ-випромінювання ведуть з борта літаків, штучних супутників Землі та автоматичних міжпланетних станцій (§ 3).

Варта уваги така репліка одного з учасників Римського симпозиуму (1983 р.): якщо в 1976 р. затрати на відкриття одного джерела ІЧ-випромінювання становили 5000 доларів, то у 1983 р. – усього лише 100 доларів.

Перший серйозний пошук ІЧ-джерел здійснили у 1965–1967 рр. Дж. Нейгебауер і Р. Лейтон (США) за допомогою 155-сантиметрового телескопа. Було зареєстровано близько 20 000 джерел, причому лише близько 600 з них збігалися з об'єктами, які видно неозброєним оком. Найбільшим джерелом ІЧ-випромінювання виявилось Сонце, яке в ІЧ-діапазоні висвічує близько 30% енергії. Виявлено надвишки ІЧ-випромінювання (в порівнянні зі спектральним класом зорі) у декількох десятків зір, що свідчить про наявність навколо них потужних пилових оболонок. Зокрема, зоря η Кіля в ІЧ-діапазоні висвічує близько 90% своєї енергії. При спостереженнях в ІЧ-діапазоні темної хмари поблизу зорі ρ Змієносця в ній виявлено близько 50 ІЧ-джерел.

Найімовірніше, у всіх таких випадках спостерігають ГЧ-випромінювання молодих зір, які формуються з фрагментів газопилових хмар (§ 3 розд. 19).

Астрофізика космічних променів. Вивчення космічних променів розпочалося орієнтовно в 1900 р. з дослідження іонізації газу в закритій посудині. У намаганні з'ясувати, чи обумовлює цю іонізацію якийсь інший фактор, крім радіоактивного випромінювання від земної поверхні, були організовані польоти на повітряних кулях. Переконливим став результат польоту австрійського фізика Віктора Гесса (1883–1964) у 1912 р., коли він на висоті 5 км зареєстрував у декілька разів більшу іонізацію, ніж на березі моря. Це відкриття Гесса у 1936 р. відзначено Нобелівською премією.

Однак ще принаймні 15 років панувала думка, що згаданий ефект може бути обумовлений «наявністю у верхній атмосфері значної кількості радіоактивних еманцій», а не дією певного невідомого космічного випромінювання. У 1927 р. виявлено, що на одній і тій же висоті ефект іонізації газу в закритій посудині істотно залежить від географічної широти спостерігача. У 1936 р. доведено, що первинні космічні промені є зарядженими частинками, у 1939–1941 рр. – що це в основному протони, у 1948 р. – що в складі первинних космічних променів є ядра різних хімічних елементів, що кількість релятивістських електронів в них не перевищує орієнтовно 1%.

Завдяки дослідженням космічних променів відкрито: позитрон e^+ (1932 р.), μ^\pm -лептоли (1937 р.), π^\pm -мезони (1947 р.), K^0 і K^\pm -мезони (1947–1948 рр.), а також Λ , Σ^+ і Ξ^- -гіперони (1951–1953 рр.).

Наземну реєстрація *широких атмосферних злив* (ШАЗ) – вторинних КП – здійснюють на експериментальних установках ШАЗ. Серед найбільших можна виділити установку Хавера Парк (Англія), на якій як детектори використовуються 32 наповнені водою баки. За 20 років роботи (1963–1983) тут зареєстровано понад 70 000 злив з енергією $E > 6 \cdot 10^{16}$ еВ, 52 000 злив в інтервалі $10^{17} \dots 10^{18}$ еВ, 8565 злив з $E > 10^{18}$ еВ, 50 злив з $E > 3 \cdot 10^{19}$ еВ і 4 зливи з $E > 1 \cdot 10^{20}$ еВ. Це також установка «Мушине око» (США) – дві станції, що розташовані на висоті 850 м на відстані 3,3 км одна від одної; перша складається з 67 алюмініюваних сферичних дзеркал діаметром по 1,6 м, у фокальних площинах яких встановлено по декілька фотопомножувачів (їх загальне число 880), на другій станції 36 дзеркал

з 464 фотопомножувачами. Установка реєструє флуоресцентне світло від атомів, що збуджуються електронами ШАЗ. Широко відомими є Якутська (Росія), Акено (Японія) і Чакалтайська (Болівія) установки ШАЗ. Менша за розмірами установка працює і в Кримській астрофізичній обсерваторії.

Принаймні у 70-х роках стало очевидним, що густина енергії космічних променів у Галактиці сумірна з густиною енергії магнітного поля і енергії турбулентних рухів міжзоряного середовища і що тому релятивістські частинки є важливим динамічним фактором у міжзоряному середовищі, який, зокрема, забезпечує рівновагу компонентів гало Галактики.

Космічні промені можуть генерувати як радіохвилі (синхротронне випромінювання), так і рентгенівське і гамма-випромінювання (§ 3), реєстрація яких є важливим засобом дослідження Всесвіту. Не дивно, що проблеми, пов'язані із фізикою (астрофізикою) космічних променів, щодругий рік обговорюються на міжнародних конференціях (їх вже відбулося 25), як і на багатьох симпозіумах і колоквиумах. Першим тут і одним з найосновніших є питання про походження космічних променів. Але «на жаль, доводиться констатувати, що все ще немає розвинутої моделі прискорення космічних променів, яка дозволила б вибрати серед багатьох можливих механізмів прискорення основні...» (В. Л. Гінзбург, 1990). Згадаємо лише, що найімовірнішими є прискорення на фронтах ударних хвиль, які рухаються в турбулентній плазмі. Це стосується як спалахів наднових, так і сонячних спалахів.

НЕЙТРИННА АСТРОНОМІЯ. Наприкінці 1930 р. Вольфганг Паулі (1900–1958) висловив припущення, за яким в атомних ядрах поряд з протонами є й нейтральні частинки – *нейтрони*. У 1931 р. він же постулював існування нейтрального лептона – *нейтрино*. Перша частинка була необхідною для «упорядкування» уявлень про будову атомних ядер, її було відкрито в 1932 р. Нейтрино «не могло не бути», оскільки без нього захитувався закон збереження енергії в реакціях бета-розпаду.

У 1946 р. фізик Бруно Понтекорво (народ. 1913 р.), працюючи в Канаді, запропонував хлор-аргоновий метод реєстрації нейтрино (за схемою $\nu + {}^{37}_{17}\text{Cl} \rightarrow {}^{37}_{18}\text{Ar} + e^-$ з подальшим розпадом ${}^{37}_{18}\text{Ar} \rightarrow {}^{37}_{17}\text{Cl} + e^+ + \nu$). Інший, галій-германієвий метод (${}^{71}_{31}\text{Ga} + \nu \rightarrow {}^{71}_{32}\text{Ge} + e^-$) запропонував у 1962 р. В. А. Кузьмін (Росія). Для багатьох, однак,

зокрема, для фізика Ганса Бете (народ. 1906), з огляду на дуже малий ефективний переріз реакцій ($\sim 10^{-44}$ см²), вони здавалися «цілком неспостережуваними». Піонером «нейтринного приладобудування» став американський фізик Рей Девіс, який у 1955 р. створив першу хлор-аргонову установку ємністю 3800 л перхлоретилену (C₂Cl₄). У 1960 р. її було встановлено в шахті (штат Огайо) на глибині 700 м. У 1966 р. в іншій шахті (Південна Дакота) на глибині 1490 м введено в дію значно потужнішу установку об'ємом 380 000 л перхлоретилену.

З 1989 р. в надрах гори Андирчі (поблизу Ельбруса) працює галієва установка. Вона складається з чотирьох контейнерів, що вміщують загалом 30 т рідкого галію, з них 40% ізотопу ⁷¹Ga, здатного реєструвати нейтрино, які утворюються в надрах Сонця внаслідок реакції ${}^1\text{H}+{}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{H}+e^++\nu$ («телескопи» Девіса були придатні вловлювати лише дуже «енергетичні» нейтрино, що утворюються усього в 0,23% випадків тої вітки реакцій синтезу гелію, проміжним етапом яких є ядра берилію).

Рідинний сцинтиляційний детектор (маса сцинтилятора 20 т) встановлено у 1990 р. в транспортному тунелі під Монбланом на глибині 5200 м водяного еквівалента (ВЕ). Черенковський водяний детектор встановлено в Японії (копальня Каміока, глибина 2700 м ВЕ), тут активною речовиною є 2140 т очищеної води. У 1995 р. там же введено в дію установку *суперкаміокаде* (детектор – 50 000 т води). Черенковський водяний детектор встановлено у соляній шахті під озером Ері (США, поблизу Клівленда, глибина 1570 м ВЕ, маса води 6800 т). У 1995 р. завершено будівництво найбільшого в світі детектора нейтрино в Канаді (поблизу Садбері, провінція Онтаріо, глибина 2000 м ВЕ), чутливість якого у 50 разів перевершує можливості усіх попередніх установок. На Баксанській нейтринній обсерваторії (Росія) створюється новий хлор-аргоновий детектор ХАНТ з масою робочої речовини, у п'ять разів більшою, ніж в експериментах Девіса. Нарешті, ще один тип сцинтиляційного детектора BOREX (на основі ізотопа ¹¹B) розроблено в Гран-Сассо (Італія).

Розвиток методів реєстрації нейтрино і зіставлення теорії з експериментальними даними на кожному етапі детально описаний Дж. Бакалом і Р. Девісом-молодшим (1986), як також В. К. Хекстоном (1995). Доречно згадати, що антинейтрино зареєстрували Ф. Райнес і К. Коуен (США) поблизу атомного реактора ще 1956 р.

Вони ж підтвердили, що ефективний переріз реакції нейтрино з речовиною справді дуже малий. Не дивно, отже, що ця проблема загалом виявилася досить важкою.

За даними 1968 р. теорія передбачувала кількість сонячних нейтрино у 3,5 раза більшу, ніж це давав експеримент Девіса. У 1983 р. було всебічно уточнено ефективні перерізи реакцій протон-протонного циклу, після чого, однак, ситуація виглядає не менш інтригуючою. Установа Девіса реєструє втричі менше нейтрино від теоретичного значення, галієвий детектор і Каміоканде дають удвічі менше число від очікуваного.

Після багатьох дискусій зроблено висновок, що ніякими змінами параметрів «стандартної моделі» чи ускладненнями внутрішньої будови Сонця не вдасться усунути розбіжність між теорією та експериментом. Єдина альтернатива – осциляції нейтрино, їхні перетворення з одного виду в інший (наприклад, електронне нейтрино перетворюється на мюонне). Це, у свою чергу, веде до висновку, що нейтрино мають масу спокою.

Проблема реєстрації нейтрино – в центрі уваги, причому як астрономів, так і фізиків. І те, що нейтрино були зареєстровані при спалаху наднової 1987А декількома установками, надало цим дослідженням нового імпульсу.

ГРАВІТАЦІЙНО-ХВИЛЬОВА АСТРОНОМІЯ. У 1916 р. А. Ейнштейн зробив висновок, що в природі можуть існувати слабкі збурення поля тяжіння – поперечні гравітаційні хвилі, які поширюються зі швидкістю світла. У 1958 р. американський фізик Джозеф Вебер розпочав роботу над створенням детектора і в 1969 р. заявив, що йому вдалося зареєструвати гравітаційні хвилі, які випромінюються ядром Галактики.

Огляд експериментальних даних був у 1973 р. зроблений Дж. А. Тайсоном. Через рік вони були проаналізовані групою В. Б. Брагінського (Росія). В обох цих випадках твердження Вебера було заперечено. Дещо раніше, у 1972 р., А. Д. Алексєєв, Р. А. Адамянц і Н. І. Колосніцин виявили кореляцію зареєстрованих Вебером сплесків з земною і сонячною магнітною активністю.

Гравітаційні антени збудовано в багатьох країнах світу. Зокрема, в середині 90-х років у США введено в дію лазерно-інтерферометричну гравітаційно-хвильову обсерваторію ЛІГО: два інтерферометри з базою 4 км кожний з'єднані за допомогою ЕОМ.

Конкретним доказом існування гравітаційних хвиль вважають особливості руху подвійної системи – пульсара PSR 1913-16. Тут встановлено випередження у проходженні через периастр на дві секунди за кожні 17 років, що з похибкою 10% узгоджується з теорією.

§ 3. ПОЗААТМОСФЕРНА АСТРОНОМІЯ

Поглинаючи більшу частину діапазону електромагнітних хвиль і ослаблюючи видиме світло, земна атмосфера є з тої причини істотною перешкодою при вивченні навколишнього Всесвіту навіть з астрономічних обсерваторій, встановлених на вершинах високих гір. Тому то ще 1870 р. Ж. Жансен (який заснував обсерваторію на вершині Монблану) започаткував спостереження Сонця з повітряної кулі. Саме тоді, кажучи словами російського популяризатора астрономії Фелікса Зігеля, астрономи вперше відірвалися від поверхні Землі і рушили назустріч зорям. У той спосіб вони вирушали назустріч зорям неодноразово. У другій же половині ХХ ст. здійснилися слова Костянтина Ціолковського: «Лише з моменту застосування реактивних приладів розпочнеться нова велика ера в астрономії: ера уважного вивчення неба».

Основні етапи цієї нової ери, аналіз багатьох отриманих вже наукових результатів відображені, зокрема, в монографії Є. І. Москаленка (1984). На матеріалах позаатмосферної астрономії ґрунтується тепер чи не половина усіх публікацій з астрономії.

СТРАТОСФЕРНА АСТРОНОМІЯ. У першій половині ХХ ст. повітряні кулі було використано для спостережень поверхні і спектра Сонця, сонячних затемнень, спостережень комет і метеорів. Зокрема, починаючи з 1951 р., ряд польотів, спочатку у відкритій корзині, а згодом у закритій гондолі здійснив французький астроном Одуен Дольфюс (народ. 1924 р.). У 1969 р., спостерігаючи Венеру з висоти 13 км, він з аналізу спектра цієї планети виявив у складі її атмосфери водяну пару.

У 1957 р. Мартін Шварцшильд (народ. 1912 р., США) розпочав серію запусків стратостатів без людини на борту. Його «Стратоскоп-2» піднявся на висоту 24 км, маючи на борту керований по радіо 36-дюймовий телескоп. Після виконання програми гондола з приладами відділялася і на парашуті опускалася на землю. У 1960 р. стратостат «Короноскоп» (США) підняв на висоту 26 км коронограф та інші прилади для вивчення Сонця. Відповідно такі ж експерименти

проводили французькі та швейцарські астрономи. В Пулкові під керівництвом Володимира Крата (1911–1983) перший запуск стратосферної обсерваторії здійснено в 1966 р., тоді на висоту близько 24 км запуснено рефлектор з діаметром дзеркала 1 м.

Деяко раніше, у 1946 р., група американських дослідників під керівництвом П. Таусі розпочала запуски астрономічної апаратури на трофейних ракетах «Фау-2» у верхню стратосферу до висот 200 км. Так розпочато епоху заатмосферних астрономічних спостережень, які тепер здійснюються з борта ШСЗ, орбітальних та автоматичних міжпланетних станцій (АМС). У 1948 р. Роберт Бернрайт (США) за допомогою рентгенівського детектора зареєстрував рентгенівське (Х-) випромінювання Сонця, а невдовзі група Герберта Фрідмана застосувала ракети для реєстрації цього випромінювання упродовж 11-річного циклу сонячної активності. Групі Герберта Горскі і Френсіса Паоліні (США) вдалося розробити у 100 разів чутливіший детектор і в 1962 р. під керівництвом Рікардо Джаконі – виявити перше Х-джерело за межами Сонячної системи – Скорпіон Х-1. Це новий клас об'єктів, Х-випромінювання яких у 1000 разів перевищує їхнє випромінювання у видимому світлі. В наступні декілька років кількість виявлених Х-джерел зросла до 30, з них квазар ЗС 273 і велетенська еліптична галактика М 87 – позагалактичні.

У 50-х роках за допомогою встановленої на ракетах апаратури проведено успішні спостереження Сонця і зір у близькій ультрафіолетовій (УФ) ділянці спектра. Вивчення ж інфрачервоної його частини активно здійснювалося як засобами аеростатної астрономії, так і з літаків. Наприкінці 1959 р. у США М. Росс і К. Мур піднялися на висоту 24 384 м з 40,6-сантиметровим телескопом і підтвердили дані про те, що в атмосфері Венери є водяна пара. У 1963 р. Мартін Шварцшильд за допомогою «Стратоскопа-2» виявив водяну пару в атмосфері Марса, а через рік група Джона Стронга, здійснивши декілька запусків стратостата з ІЧ-спектрометром до висоти понад 26 км, зробила висновок, що хмари Венери складаються з кристаліків льоду.

Спостереження в ІЧ-діапазоні з стратостатів («експерименти на балонних платформах») за допомогою 20...40-сантиметрових рефлекторів залишалися актуальними і в 70-х роках. У 80-х роках з цією метою, зокрема у США, збудовано телескопи з діаметром дзеркала

1–1,2 метра. При спостереженнях інструменти охолоджують до 4... 10 К, а приймачі до 2 К. З середини 70-х років з цією ж метою ІЧ-телескопи встановлюють на бортах літаків («Лір Джет» у США, «Каравелла» у Франції, АН-30 в СРСР). Найбільшим є 91-см ІЧ-телескоп «Обсерваторії ім. Койпера» на літаку С-141 (США); тривалість спостережень при польоті на висоті 13 км сягає чотирьох годин. Ракетні спостереження 70-х років у США проводили за допомогою 20- і 16-см телескопів (ракетні «Аеробі» і «Блек Брант»). Завдяки 11 польотам з полігонів США і Австралії складено каталог AFGL з 2361 джерелом ІЧ-випромінювання (від назви *Air-Force Geophysical Laboratory*). Більшість джерел цього каталога ототожнено з відомими із наземних спостережень ІЧ-об'єктами або з яскравими зорями.

ПОЗААТМОСФЕРНА ОПТИЧНА АСТРОНОМІЯ. В жовтні 1959 р. землянам вперше вдалося побачити зображення зворотнього боку Місяця («Луна-3», СРСР). Згодом отримано якісніші фотографії супутника Землі (1964 р., «Рейнджер-7», США і т.д.). У липні 1965 р. АМС «Марінер-4» (США) уперше з близької відстані сфотографувала планету Марс. Через рік, у березні 1966 р., «Венера-3» (СРСР) досягла планети Венери. У 1973-1975 рр. отримано якісні фотографії зблизька Юпітера (АМС «Піонер-10» США), Меркурія («Марінер-10», США), поверхні Венери («Венера-9 і 10», СРСР). І справжнім тріумфом стали польоти АМС «Вояджер-1» (США, запуск 5. 09. 1977 р.) і «Вояджер-2» (США, запуск 10. 08. 1977 р.), які пролетіли поблизу Юпітера (відповідно 05. 03. 1979 р. і 09. 07. 1979 р.) і Сатурна 12. 11. 1980 р. і 25. 08. 1981 р.). Згодом завдяки вдалому маневруванню з «використанням» гравітаційного поля кожної з планет «Вояджер-2» пройшов поблизу Урана (24.01.1986 р.) і Нептуна (24.08.1989 р.) – відповідно на відстані 120 000 км і 4200 км. В Урана виявлено 10 малих супутників і наявність в атмосфері планети молекул водню, метану й ацетилену. Отримано близько 9000 фотографій Нептуна, відкрито його ще шість невеликих супутників, виявлено систему шести кілець. Однак найбільш вражаючими стали відкриття, що стосувалися супутників і систем кілець навколо Юпітера і Сатурна. Зокрема – виверження вулканів на супутнику Юпітера Іо, чим підтверджено передбачення українського астронома Сергія Всехсвятського (1905–1984).

Перелік найголовніших штучних супутників Землі (ШСЗ) та орбітальних космічних станцій (ОКС), що використані для проведення астрономічних досліджень у різних спектральних діапазонах, подано в табл. 6. Що стосується оптичного діапазону, то ось декілька штрихів ефективності роботи позаатмосферних інструментів. За допомогою H_{α} -телескопів ОКС «Скайлеб» (два телескопи з діаметром дзеркал 19 см) отримано понад 68 000 зображень Сонця в лінії H_{α} . На «Коронографі» цієї ж ОКС ($D = 3$ см) – понад 35 000 зображень сонячної корони протяжністю від 1,5 до $6R_{\odot}$. За дев'ять місяців спостережень зареєстровано майже 80 потужних викидів речовини в корону, що, очевидно, є загальною формою сонячної активності, зареєстровано понад 110 корональних спалахів.

Таблиця 6.

Деякі найголовніші ШСЗ та ОКС, які використано для астрономічних досліджень у 60–90-х роках

Назва	Коротка характеристика
1. «Космос», СРСР	Серія запусків з 1962 р.; «К.-215» – спостереження в УФ; «К.-264» (1971) і «К.-561» (1973) – в гамма-діапазоні.
2. ОАО, США	« <i>Orbital Astronomical Observatory</i> »: ОАО-2 – «Селескоп» (1968) і ОАО-3 – «Коперник» (1973) – спостереження в УФ.
3. SAS, США	« <i>Small Astronomical Satellite</i> »: САС-2 (1972) – гамма-діапазон, САС-3 (1975) – Х-діапазон.
4. Салют, СРСР	«С.-4» (1974) і «С.-7» (1982) – Х-діапазон.
5. ANS, Нідерланди	« <i>Astronomical Netherlands Satellite</i> » (1974): УФ та Х-діапазони.
6. ОСО, США	« <i>Orbital Solar Observatory</i> »; ОСО-6 (1969) і ОСО-8 (1975): Х-діапазон; ОСО-7 (1974) – УФ.
7. Скайлеб, США	1973, УФ, Х-діапазон, H_{α} -телескоп
8. НЕАО, США	« <i>High-Energy Astrophysical Observatory</i> »; «Н.-1» (1977), «Н.-2» – «Обсерваторія імені А. Ейнштейна» (1978): Х-діапазон.
9. IUE	« <i>International Ultraviolet Explorer</i> », (1978): Х-діапазон.
10. ISEE	« <i>International Sun-Earth Explorer</i> », ISEE-3 (1978): в точці лібрації Земля–Сонце, на відстані 1,5 млн. км, довгохвильове радіовипромінювання
11. EUVE	« <i>Extreme Ultraviolet Explorer</i> », (1985): УФ-діапазон.
12. GRO, США	« <i>Gamma-Ray Observatory</i> », (1991): гамма-діапазон.

Заслужує уваги телескоп «Гіппарх» (*HIPPARCOS = High Precision PARallax Collecting Satellite*), який у 1989 р. вивело на орбіту (всупереч планам – не на стаціонарну) Європейське космічне агентство з метою встановлення точних координат великого числа зір (близько 100 000 до 13^m) з похибкою до $0,002''$. Особливою ж подією став запуск 25 квітня 1990 р. на висоту 612 км КТХ – Космічного Телескопа ім. Хаббла (США) з діаметром дзеркала 2,4 м. Проникна здатність КТХ – зорі до 28^m , тоді як наземному інструменту з такою ж апертурою доступні зорі до 24^m . В своїй сукупності результати, що їх вже отримано за допомогою КТХ, неможливо переоцінити. Зокрема, дослідження цефеїд у дальших галактиках дало змогу незалежно визначити сталу Хаббла (розд. 21, § 2).

Розроблено проекти побудови ОКС з телескопами діаметром до 8 метрів і навіть більшими, як також створення на зворотному боці Місяця сітки з 30 півтораметрових телескопів.

Як у випадку наземних інструментів, створення великого орбітального телескопа – завдання дуже нелегке. КТХ задуманий Л. Спітцером у Принстонському університеті ще в середині 40-х років. У 1959, 1962 і 1965 роках астрономи США, розробляючи програму космічних досліджень, висловлювалися за роботу над проектом. Восени 1971 р. НАСА (національне управління з астронавтики США) створило комітет для розробки «Великого космічного телескопа». У 1977 р. вирішено зменшити діаметр дзеркала з 3 до 2,4 м (з огляду на можливості «космічного човника», яким КТХ і виведено на орбіту). Фінансування проекту розпочалося з 1978 р. і загальна вартість телескопа мала б становити 575 млн. доларів. Однак до 1984 р. витрати за цією програмою (не рахуючи запуску) досягли 1,2 млрд. доларів, а фактично – у декілька разів більше. Сам же запуск КТХ планували спочатку на 1983 р., потім цю дату відсували на 1985, 1986, 1988 роки, а здійснено – у 1990 р.

УЛЬТРАФІОЛЕТОВА АСТРОНОМІЯ. Близьку УФ-частину спектра (3000–2000 Å) досліджують тими ж (дещо модифікованими) методами, що й оптичний діапазон. Для «далекого» (чи «вакуумного» УФ-випромінювання, до 1000 Å) використовують, як правило, дзеркальні телескопи, причому відбивні поверхні покривають шаром алюмінію з фтористим літієм, світлофільтри і віконця ФЕП роблять

зі спеціальних матеріалів. У «крайньому» УФ-діапазоні вживають приймачі випромінювання «відкритого» типу.

Серед УФ-телескопів виділяють передовсім встановлені на ОКС «ОАО-2» чотири 30-сантиметрові ширококутні рефлектори, що були оснащені телекамерами. Упродовж більш як 12 місяців отримано телевізійні зображення окремих ділянок неба з зорями до 8^m . Надзвичайно ефективною була 8,5-річна робота «ОАО-3» (її інша назва – «Коперник») на коловій орбіті висотою 750 км. Її 80-сантиметровий телескоп системи Кассегрена став першим, за допомогою якого вдалося отримати УФ-спектри зір до 6^m , як також дані про структуру міжзоряного середовища, його хімічний склад і фізичні умови у ньому. Зокрема, у спектрах багатьох зір виявлено лінії поглинання молекули H_2 , з чого випливало, що половина (за масою) міжзоряної речовини перебуває в молекулярній формі.

Спільними зусиллями багатьох наукових груп США і західноєвропейських країн створено супутник IUE, на якому з 1978 р. з геосинхронної орбіти (супутник перебуває над Атлантичним океаном) за допомогою 45-сантиметрового телескопа отримано високоякісні спектри багатьох тисяч зір усіх класів, зір білих карликів, подвійних, багатьох сотень галактик і квазарів, оптичних компонентів рентгенівських джерел тощо. Здійснено також спектральні спостереження об'єктів Сонячної системи – планет і їх супутників, комет. Реалізовано цілу низку кооперативних програм спостережень одночасно з наземними телескопами або ж іншими орбітальними інструментами як в ультрафіолетовій, так і оптичній та рентгенівській ділянці спектра. При інтегруванні за декілька годин спостережень телескоп супутника IUE давав змогу отримувати спектри дуже слабких об'єктів – до 15^m ... 16^m .

Ще одним прикладом ефективного УФ-телескопа є 80-сантиметровий телескоп «Спіка», виготовлений співробітниками Кримської астрофізичної обсерваторії (Україна) з участю Марсельської лабораторії космічної астрономії (Франція) і Бюроканської астрофізичної обсерваторії (Вірменія). Його на ОКС «Астрон» у березні 1983 р. виведено на дуже витягнуту орбіту з перигеєм 2000 км і апогеєм 200 000 км і періодом обертання близько 4 діб. Спектри найслабкіших зір (15^m) отримано за 3,3... 4 год. Серед багатьох

сотень спектрів зір і галактик особливо цінними є три спектри Наднової 1987А, що спалахнула у Великій Магеллановій Хмарі.

Майже два роки проводили дослідження за допомогою виготовленого в Нідерландах телескопа діаметром 22 см. Супутник ANS планували вивести на колово орбіту висотою 500 км. Однак через неполадки в стабілізації він вийшов на еліптичну орбіту з апогеєм 1150 км і перигеєм 280 км. Було складено каталог фотометричних даних про майже 3600 зір, про деякі галактики і кулясті скупчення та туманності.

Телескопом нового покоління є «Старлаб» – 1-метровий УФ-телескоп, створений ученими США, Австралії і Канади, в якому як приймачі енергії є мозаїка з великих мікроканалних пластин, поєднаних оптичним волокном з ПЗЗ-приймачами, що працюють в режимі лічби фотонів. Програма досліджень тут найширша – від зоряних скупчень Галактики до радіогалактик і квазарів.

У 1975 р. за допомогою супутника ANS виявлено перший барстер – (від англ. *burst* – спалах), який знаходиться в кулястому скупченні NGC 6624. Це – імпульсні джерела Х-випромінювання, найімовірніше – тісні подвійні зорі «червоний карлик+нейтронна зоря».

РЕНТГЕНІВСЬКА АСТРОНОМІЯ. Методи реєстрації та аналізу рентгенівських фотонів на ОКС в основному базуються на техніці, яку розробили і широко вживають в наземних ядерно-фізичних дослідженнях. Для отримання зображення об'єктів в Х-діапазоні, зокрема, розроблено чотири конструкції телескопів ковзаючого падіння Х-променів. Це передусім *оптична система Кіркпатрика–Баеза* – серія вкладених один в одного зрізаних конусів, внутрішні поверхні яких вкриті відбивним шаром хрому і нікелю. Далі, три *оптичні системи Г. Уолтера*: 1) безперервний перехід параболоїд–гіперболоїд з подвійним внутрішнім відбиванням, 2) внутрішнє відбивання від параболоїда і далі зовнішнє від гіперболоїда і 3) зовнішнє від параболоїда і внутрішнє від еліпсоїда. У цих випадках поглинання Х-променів матеріалом дзеркала відносно невелике.

Для виділення окремих спектральних діапазонів перед отвором телескопа встановлюють відповідний «світлофільтр». Ним може бути берилієва плівка товщиною близько 13 мкм, яка пропускає рентгенівське випромінювання в діапазоні від 3,5 до 14 Å, або ж лавсанова плівка, – від 3,5 до 14 і від 44 до 60 Å, і т. д. Ефективним

приймачем Х-випромінювання є *трубчастий коліматор*. Спектри Сонця і найпотужніших Х-джерел досліджують за допомогою кристалічних *брегівських спектрометрів*. Реєстрацію фотонів найчастіше здійснюють за допомогою *пропорційних лічильників, напівпровідникових детекторів і сцинтиляційних лічильників*.

Першим спеціалізованим супутником, призначеним для огляду неба з метою пошуку рентгенівських джерел, був американський супутник «Ухуру», (що значить «свобода» мовою суахілі в Кенії, звідки запущено ОКС SAS-1). Детекторами були багатосекційні пропорційні лічильники. За його допомогою багато галактичних рентгенівських джерел ототожнено з подвійними системами, виявлено швидкі регулярні пульсації випромінювання у двох Х-джерел – Геркулеса Х-1 та Центавра Х-3. Іншим важливим відкриттям, зробленим за допомогою «Ухуру», було те, що простір між галактиками та їх скупченнями заповнений газом, розігрітим до температури 10... 1000 млн. кельвінів. Виявлено багато нових Х-джерел.

Одним із найдосконаліших наукових космічних апаратів була «Обсерваторія ім. Ейнштейна» – ОКС «НЕАО-2» (запуск у листопаді 1978 р., припинила роботу в 1981 р.). Її рентгенівський телескоп складався з чотирьох вкладених один в одного параболоїдів і чотирьох також вкладених один в одного гіперболоїдів (перша система Уолтера), завдяки яким Х-промені спрямовували у фокус, що знаходився на відстані 3,4 м позаду вхідного отвору діаметром 58 см. Камера-лічильник рентгенівських фотонів забезпечували передачу на наземну ЕОМ інформацію про напрям і час реєстрації кожного фотона. Ці сигнали про проходження фотонів могли нагромаджуватися в інтервалі від кількох хвилин до години, перетворюватися в рентгенівське зображення неба на телеекрані, яке тут же фотографували. За допомогою згаданого телескопа виявлено Х-джерела, у 1000 разів слабкіші, ніж ті, що спостерігали раніше.

Загальноновизнано, що Х-телескоп обсерваторії «Ейнштейн» змушує повністю переглянути попередні уявлення про динаміку зовнішніх шарів зір. Адже завдяки йому виявлено рентгенівське випромінювання від зір усіх спектральних класів – від О до М, причому для карликів класу К і М воно у 10^6 разів сильніше, ніж очікували (для М-зір Х-випромінювання усього в 10 разів слабкіше, ніж в оптичному діапазоні).

ГАММА-АСТРОНОМІЯ. Реєстрація космічних гамма-квантів є дуже складною проблемою, оскільки їх детектори здатні також реєструвати і потоки заряджених частинок, фон яких у $10^3 \dots 10^4$ разів є більшим. Цей фон доводиться певним чином усувати. Звичайно використовують три типи детекторів гамма-випромінювання: *сцинтиляційні* і *черенковські лічильники*, *ядерні емульсії* та *іскрові камери*. Гамма-телескоп встановлюють під сцинтиляційним лічильником – ковпаком, який реєструє заряджені частинки і виключає їх з числа подій, зареєстрованих самим телескопом.

Безперервне гамма-випромінювання генерується в космічних просторах внаслідок гальмівних процесів, синхротронного випромінювання і зворотного комптон-ефекту. При електронно-позитронній анігіляції ($e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$) з утворенням двох фотонів їх енергія відповідає $E = 0,511$ МеВ. З меншою імовірністю відбувається трифотонна анігіляція ($e^- + e^+ \rightarrow 3\gamma$), тоді випромінюються фотони з безперервним спектром від 0 до 0,511 МеВ. Внаслідок розпаду нейтральних піонів ($\pi^0 \rightarrow 2\gamma$) утворюється спектр випромінювання з максимумом на енергії в 67,5 МеВ. При ядерній реакції $p + n \rightarrow d + \gamma$ – гамма-квант з енергією $E = 2,23$ МеВ і т. д.

Гамма-кванти з енергією понад 100 ГеВ, влітаючи в земну атмосферу, породжують зливи релятивістських електронів, позитронів і вторинних гамма-квантів. Рухомі частинки збуджують короточасні (тривалістю близько 10^{-8} с) спалахи черенковського світлового випромінювання, яке можна спостерігати переважно в синій і фіолетовій частині спектра. В наш час вже діє декілька установок для реєстрації цього випромінювання. Зокрема, на о. Мальта така установка складається з чотирьох 90-сантиметрових дзеркал, встановлених на одній поворотній рамі. Смітсонівською астрофізичною обсерваторією на вершині Маунт Хопкінс в Аризоні (США) встановлений 10-метровий рефлектор, що складається з мозаїки з 248 дзеркал. Установка для аналогічних спостережень є і в Кримській астрофізичній обсерваторії.

Ефективною є установка обсерваторії Сіднейського університету в Наррабрі (Австралія), це – два 7-метрових рефлектори, які віддалені один від одного на 120 м і які працюють в режимі автоматичного слідкування за об'єктом спостереження, від якого очікується гамма-випромінювання.

Реєстрацію гамма-променів з енергіями близько 1 MeV здійснюють за допомогою інструментів, встановлених на космічних апаратах, із застосуванням різних, залежно від поставленої задачі, методів, які вже згадано вище. Так, на ОКС OSO-7 (1971 р.), з цією метою використано сцинтиляційні лічильники. Площа такого ж детектора обсерваторії HEAO-1 була $2 \times 110 \text{ см}^2$, обсерваторії GRO – $4 \times 440 \text{ см}^2$, на цій другій встановлено також іскрову камеру площею 6400 см^2 . На орбітальній обсерваторії HEAO-3 використано інструмент з напівпровідниковими детекторами і т. д.

Гамма-астрономія зародилася зовсім недавно, але вже наявні результати свідчать, що невдовзі саме цей діапазон енергій стане дуже перспективним. Ізотропний потік гамма-квантів засвідчив наявність релятивістських електронів у міжгалактичних просторах (виникає при зіткненнях цих електронів з малоенергійними фотонами). Підвищення інтенсивності гамма-випромінювання при наближенні до площини галактичного екватора несе певну інформацію про розподіл газу, пилу і космічних променів у Галактиці. Виміряно потік гамма-квантів від хромосферних сонячних спалахів, потоки від кількох пульсарів і квазарів. Однак найцікавішим явищем залишаються гамма-сплески, яких, зокрема, з 1973 по 1985 р. зареєстровано близько 200. Згодом, з 1979 р. вдалося виявити декілька рекурентних серій сплесків (зокрема, від джерела GBS 0526-66 – один сплеск за кожні 48 діб).

Якраз космічні гамма-сплески і тепер є чи не найцікавішою і найважчою проблемою астрофізики. В одній із моделей (модель С. Вуслі та Р. Уолеса, 1982 р.) покладається, що вони виникають при термоядерних вибухах на акреціюючих сильно намагнічених нейтронних зорях у подвійних системах. Однак повного розуміння цього процесу ще немає.

ОРБІТАЛЬНА ІЧ-АСТРОНОМІЯ. Деякий час головну увагу при спостереженнях в ІЧ-діапазоні віддано дослідженням Сонця, Землі і планет Сонячної системи за допомогою радіометрів. Першим із бортових субміліметрових телескопів був 1,5-метровий БСТ-1 М, виведений у 1977 р. в складі ОКС «Салют-6». Через шість років запущено спеціалізований супутник IRAS, який за 11 місяців роботи з висоти 600 км над Землею майже три рази просканував 95% небесної сфери.

Головним інструментом ОКС IRAS був 57-сантиметровий телескоп системи Річі-Кретъєна зі світлосилою 1:9,6. Його дзеркала були виготовлені з берилію, вторинне дзеркало алюмінійоване для збільшення відбивної здатності в оптичному діапазоні. Телескоп вміщено в дюар з рідким надтекучим гелієм, завдяки чому його оптику весь час утримували при температурі нижче 5 К. Огляд неба здійснювано в чотирьох спектральних смугах, центрованих на 12, 25, 60 і 100 мкм. У фокальній площині встановлено систему прямокутних щілин, за якими розміщено матрицю з 62 приймачів, охолоджуваних до температури 1,8 К.

Для спектрального аналізу ІЧ-випромінювання за межами земної атмосфери використовують ті ж прилади, що й в наземній ІЧ-спектроскопії – вузькосмугові фільтри та інтерферометри Фабрі–Перо, дифракційні і призмові спектрометри, а також фур'є-спектрометри.

За допомогою супутника IRAS зареєстровано приблизно 250 000 ІЧ-об'єктів, зокрема близько 20 000 галактик поза Молочним Шляхом, молекулярні хмари у площині Галактики. Загалом, як з'ясували, за межами нашої зоряної системи є не менше 10% ІЧ-джерел. Виявлено, що в деяких «нормальних» галактик ІЧ-світність на порядок більша, ніж у нашої Галактики. В одній з галактик, що є також потужним джерелом радіовипромінювання, NGC 1068, світність в ІЧ-діапазоні – це 98% її повної світності. Потужними джерелами ІЧ-випромінювання є також квазари.

Є плани створення в близькому майбутньому на орбіті супутника дзеркальних антен діаметром 10...20 м для прийому випромінювання субміліметрового діапазону.

РАДІОАСТРОНОМІЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ В КОСМОСІ. З початком 60-х років розроблено методи реєстрації радіохвиль, що приходять до Землі з навколишнього простору, на ОКС. Це передусім, здійснювали на супутниках «Аріель-2», «Електрон-1 і 2», космічних апаратах «Зонд-2 і 3», АМС «Венера-2» та ін. У довгохвильовому діапазоні і тепер об'єктами досліджень є Земля і планети, сонячні сплески, а також галактичне дифузне випромінювання. Оскільки сонячні радіосплески пов'язані із збудженням колективних механізмів випромінювання сонячної і міжпланетної плазми, то за допомогою ОКС стало можливим прослідкувати розвиток цих джерел при їхньому русі аж до земної орбіти. Такі спостереження систематично проводяться

з середини 60-х років, зокрема на станціях «Прогноз», супутниках «Інтеркосмос-Коперник-500» і ISEE, як також на виведених даліше від Землі КА – супутниках «Хаукай» з апогеєм до 20...40 радіусів Землі, штучних супутниках Сонця «Геліос», АМС «Вояджер» і т. д.

Бортовими антенами на АМС досліджували також радіовипромінювання планет. Так, зокрема, у 1965 р. «Зонд-3» і «Венера-2» зареєстрували довгохвильове радіовипромінювання Юпітера, КА «Вояджер» виявили нетеплове випромінювання Сатурна при прольоті біля цієї планети. Балонні та орбітальні методи спостережень в міліметровому діапазоні виявили анізотропію фонового (реліктового) радіовипромінювання, обумовлену як рухом Сонця, так і Галактики у просторі. З цією метою, зокрема, на ШСЗ «Прогноз-9», який виведено на орбіту з апогеєм 700 000 км (період обертання близько 30 діб), встановлено високочутливий радіометр з рупорно-параболічною антеною, що приймав випромінювання на довжині хвилі 8 мм.

Для високочутливих спостережень позасонячних джерел і створення наземно-космічного інтерферометра у 1979 р. на ОКС «Салют-6» за допомогою транспортного корабля «Прогрес-7» доставлено космічний радіотелескоп з діаметром антени 10 м (КРТ-10). В поєднанні з 70-метровою антеною, встановленою поблизу Євпаторії, вони й утворили перший наземно-космічний радіоінтерферометр, який працював понад два тижні.

Усе, тут сказане, – лише конспективна ілюстрація нових методів!

Розділ 19. ФІЗИКА ЗІР

Уявлення про зорю як велетенську розжарену газову кулю, що перебуває в стані гідродинамічної рівноваги, – це фактично здобуток ХІХ ст. З початком же ХХ ст. необхідно було з'ясувати цілу низку наступних питань, як ось (і передусім) залежність особливостей спектра зорі від фізичного стану речовини в її зовнішніх шарах. Вирішальним для розуміння природи зір в цілому залишалося питання про джерела їхньої енергії.

Звичайно, кожен крок уперед у розумінні процесів, що відбуваються в атмосферах надрах зір, і так чи інакше пов'язаний з новими ідеями передовсім теоретичної фізики, серед них – ідея Макса Планка про випромінювання енергії «атомними осциляторами»

лише окремими порціями і його ж формула розподілу енергії в спектрі чорного тіла (1900 р.). «Це відкриття стало основою для всіх досліджень у фізиці ХХ ст. і з того часу майже цілком зумовило її розвиток... Воно... поставило перед наукою задачу: знайти нову пізнавальну основу для усієї фізики» (А. Ейнштейн). Це, далі, ідеї А. Ейнштейна про дискретну, квантову структуру випромінювання, а звідси – його закон для фотоефекту (1905 р.), як також поняття про спонтанне та індуковане випромінювання (1916 р.), його спеціальна (1905 р.) та загальна теорія відносності (1907–1916 рр.). Бо ж ця друга стала основою сучасної космології, але також – складовою частиною теорії внутрішньої будови зір, що перебувають на заключних етапах свого розвитку, з неї випливає сама можливість існування чорних дір.

У з'ясуванні різних аспектів будови зоряних атмосфер, фізики зір у цілому, величезну роль зіграла квантова модель атома, розроблена у 1913 р. Нільсом Бором. На її основі індійський астрофізик Мегнад Саха (1893–1956) у 1920–1921 рр. розробив теорію іонізації атомів, що дало змогу пояснити послідовність спектральних класів зір, вивчати хімічний склад зоряних атмосфер та фізичні умови в них. Задачу ж про перенесення енергії з надр зорі до її поверхні можна було адекватно сформулювати після того, як 1923 р. нідерландський фізик Хендрик Крамерс (1894–1952) отримав формулу для коефіцієнта поглинання речовини k в розрахунку на одиницю маси (коефіцієнта непрозорості). Нарешті, вирішальною умовою для розуміння суті процесів, що відбуваються у надрах зір (зокрема, для з'ясування окремих етапів термоядерного синтезу) стало створення у 1927–1928 рр. квантової механіки.

Завдяки ж поєднанню певних фізичних ідей з менш чи більш складними математичними методами значною мірою вдалося пояснити нестабільність блиску декількох десятків тисяч зір, зокрема спалахи нових і наднових. Космічна газодинаміка сьогодні є важливим підрозділом теоретичної астрофізики. І в окремих напрямках її можливості все ще не вичерпані до кінця, хоча й труднощі, з якими тут зустрічається дослідник, подекуди є надто великими (як, наприклад, при обчисленнях спектрального розподілу випромінювання з-за фронту ударної хвилі, що рухається в атмосфері зорі).

§ 1. АТМОСФЕРИ І НАДРА ЗІР

ЗБАГАЧЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ. Робота над згаданим раніше Дреперівським каталогом спектрів зір була продовжена, внаслідок чого до 1949 р. опубліковано ще два додаткових томи, а загальна кількість класифікованих зір сягнула 359 082. Працюючи над своєю частиною каталога HD, Антонія Морі зауважила істотну відмінність в ширинах окремих ліній у спектрах різних зір, тому вона ввела позначення *a*, *b*, *c* відповідно для спектрів із широкими, середніми і вузькими лініями. У 1905 р. Ейнар Герцшпрунг виявив, що *c*-зорі мають найменший власний рух μ (зміщення на небесній сфері за рік), це свідчило про їх великі відстані і, отже, – великі світності. Це фактично було підтвердженням того факту, що в нашій Галактиці є зорі, які мають в загальному однакові спектральні характеристики, але істотно відрізняються між собою за розмірами, а отже, – і за середньою густиною.

Виявлення Антонією Морі особливостей спектрів зір, що належать до одного і того ж спектрального класу, дало змогу розробити *метод спектральних паралаксів*. На це вказав майже зразу ж, у 1911 р., Е. Герцшпрунг: «Якби лише ми могли встановити абсолютну світність зорі за її спектром, то ми були б у змозі обчислити її паралакс, знаючи видиму величину зорі та її спектр... Строго кажучи, будь-яка зміна світності, якою б не була її причина, повинна певним чином впливати на спектр. Відшукання таких спектральних еквівалентів світності... буде винагороджене сторицею». Завершили розробку методу спектральних паралаксів (1913–1916 рр.) американський астроном Уолтер Сідні Адамс (1876–1956) та німецький астроном Арнольд Кольшютгер (1883–1969).

Що ж стосується двовимірної (спектр–світність) системи класифікації зір, то її певним завершенням став «Атлас зоряних спектрів» (1943 р.) американського астронома Уільяма Моргана у співавторстві з Ф. Кінаном та Е. Келлман. Це – так звана Йеркська класифікація зір, в якій виділено такі *класи світності зір*: найяскравіші надгіганти (позначення *Ia*), менш яскраві надгіганти (*Ib*), яскраві гіганти (*II*), нормальні гіганти (*III*), субгіганти (*IV*) і зорі головної послідовності (*V*). Згодом було долучено класи субкарликів (*VI*) та білих карликів (*VII*), як також введено класи *0* та *Iab*.

ДІАГРАМА СПЕКТР–СВІТНІСТЬ. Зіставлення світностей зір *L* (абсолютних зоряних величин *M*, а для компактних зоряних скупчень –

видимих величин m зір, що належать до скупчення) з їхніми спектральними класами (ефективними температурами T_{eff} або показниками кольору, наприклад, у системі UBV , $B - V$) – діаграма спектр-світність – має ще назву *діаграми Герцшпрунга–Рессела*. Таку діаграму вперше (у 1911 р.) побудував Е. Герцшпрунг для зір із скупчень Плеяди та Гіади. Зорі на ній чітко вклалися на смугу, яку згодом названо головною послідовністю (крім декількох дуже яскравих жовтих зір в Гіадах). Тут зіставлено видимі зоряні величини з показниками кольору. Через два роки (у 1913 р.) Г. Рессел побудував діаграму залежності абсолютних величин від спектральних класів для всіх зір з околиць Сонця, для яких відстані (паралакси) були відомі (рис. 5.1). Крім головної послідовності на діаграмі виділилася

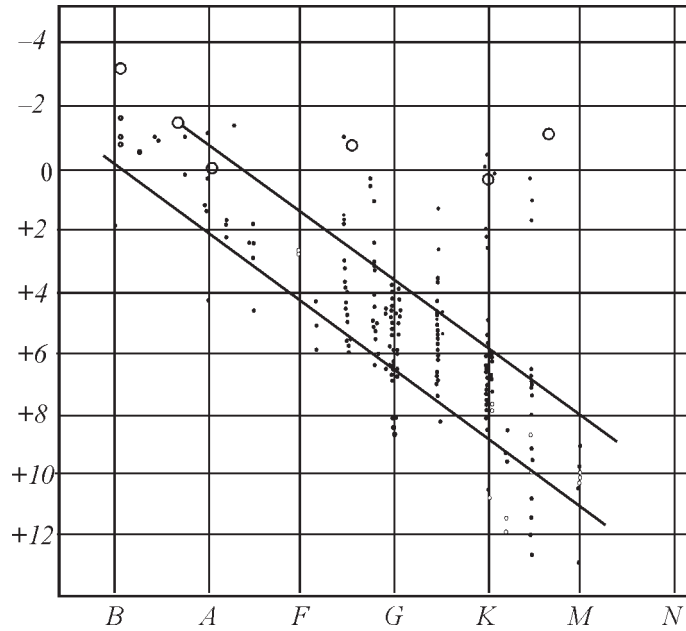


Рис. 5. 1. Діаграма спектр – світність за Г. Ресселом (1913 р.).

і горизонтальна послідовність гігантів. Єдину точку в лівому нижньому куті – слабкий супутник з подвійної системи 40 Ерідана – не було взято до уваги, оскільки в цієї зорі «спектр є дуже сумнівним».

Насправді ж зоря 40 Ерідана В займала належне їй місце в зоні зір білих карликів. Що цей окремий тип зір існує, було доведено

в 1914 р. У. С. Адамсом. Він виявив, що компонент Сиріус В, світність якого мала б становити усього $1/360 L_{\odot}$, є білою зорею і, таким чином, його ефективна температура $T_{\text{eff}} \approx 8\,000$ К. Приймаючи, що поверхня Сиріуса В світиться як чорне тіло, Адамс знайшов радіус цієї зорі: $R \approx 18\,800$ км. Що ж до зорі 40 Еридана В, то Г. Рессел у 1944 р. згадував, маючи на увазі свій приїзд у Гарвардську обсерваторію в 1910 р.: «Першою людиною, яка дізналася про існування білих карликів, була міссіс Флемінг» (американська жінка-астроном Вільяміна Флемінг, 1857–1911). Вона повідомила Г. Ресселу, що це – «зоря класу А», однак він засумнівався... Та й щодо Сиріуса В Артур Еддінгтон у своїй книжці «Зорі й атоми» (1927 р.) писав: «Повідомлення супутника Сиріуса після його розшифровки звучало так: «Я складаюся з речовини, щільність якої у 3000 разів більша за все, з чим вам коли-небудь доводилося мати справу; тонна моєї речовини – це малесенький шматочок, який вміщується у сірниковій коробці...» У 1914 р. більшість із нас відповіло так: «Досить! Не мели дурниць!».

Про особливості будови цих зір сказано нижче. Тут зазначимо, що за даними Алана Сендіджа (народ. 1918 р., США), отриманими до 1969 р. за допомогою 5-метрового телескопа, білих карликів налічували близько 1 000. Це – слабкі зорі з близьких околиць Сонця. Приймають, що їх кількість у Галактиці – до 10% від загального числа зір. Навпаки, гігантів і надгігантів тут небагато: на 1000 зір головної послідовності припадає один гігант, на 1000 гігантів – один надгігант.

Три речі стали визначальними у з'ясуванні «евристичної значущості» діаграми спектр–світність. Перше: встановлений 1915 р. Харлоу Шеплі (1885–1972, США) факт її істотної відмінності для зір, що утворюють кулясті скупчення, порівняно зі скупченнями розсіяними. Щоправда, як зауважили О. Струве та В. Зебергс (1968 р.), «робота Шеплі не була належно оцінена навіть після публікації його книги «Зоряні скупчення» (1930 р.)! Лише (див. розд. 20, § 1) «гіпотеза Бааде про два зоряні населення розтопила лід і привела до нових відкриттів». Це дало змогу Х. Шеплі написати у статті «Півстоліття кулястих скупчень» (1949 р.), що ця різниця у розподілі зір на діаграмі «повинна бути якось пов'язана з еволюцією зір; однак особливості цього зв'язку тоді були такими ж загадковими, як і тепер».

Друге: у 1911 р., працюючи на Мисі Доброї Надії (Південна Африка), Дж. Холм (на підставі даних У. Кемпбела про спектральні

подвійні та Г.Рессела про візуально подвійні зорі) висунув припущення про існування кореляції між абсолютними величинами зір M та їхніми масами \mathfrak{M} .

Ця залежність («співвідношення маса–світність») детальніше досліджена Г. Ресселом (1913 р.) та Е. Герцшпрунгом (1918 р.), невдовзі (1924 р.) А.Еддінгтон дав їй теоретичне пояснення. Так встановлено, що чим більша маса зорі, тим вище вона знаходиться на головній послідовності.

І, нарешті, після остаточного з'ясування природи джерел енергії (кінець 30-х років) стало очевидним, *що головна послідовність на діаграмі спектр–світність – це геометричне місце точок, що відображають положення зір, в надрах яких водень перетворюється в гелій.*

ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ. Услід за Дж. Джинсом гіпотезу про «анігіляцію матерії» як джерело енергії зір розглядали (відповідно у 1925 і 1926 рр.) Г. Рессел і А. Еддінгтон. Однак у ті роки вже було розпочато аналіз іншого варіанту: синтезу гелію в надрах зір за схемою $4^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He}$. Одним із піонерів тут був американський фізик Уільям Дрепер Харкінс (1873–1951), який, зокрема, у 1914–1916 рр. увів поняття «*ефекту упаковки*» та «*упаковочного коефіцієнта*». Невдовзі, у 1918 р., видатний конструктор мас-спектрографів англійський фізик Френсіс Астон (1877–1945) уточнив масу ядра гелію (3,97 маси атома водню m_p). Так було з'ясовано, що при утворенні ядра гелію виділяється енергія ΔE , що пропорційна «*дефекту маси*» $\Delta m = 4m_p - m_{\text{He}} = 0,03m_p$, тобто $\Delta E \approx 4,5 \cdot 10^{-12}$ Дж. Звідси випливало, що коли б Сонце «на початку» свого існування складалося на 100% з водню, то, випромінюючи енергію в сьогоdnішньому темпі, воно могло б існувати близько 100 млрд. років.

У 20-х роках ідею синтезу гелію з водню енергійно відстоював А. Еддінгтон, хоча й віддаючи перевагу ідеї анігіляції. Ось що він писав у книжці «Зорі й атоми» (1927 р.): «Точка зору, за якою енергія зорі виникає при побудові інших елементів з водню, має велику перевагу, бо не існує сумнівів відносно можливості цього процесу, оскільки ми не маємо доказів того, що в природі може відбуватися анігіляція матерії... З моєї точки зору, *існування гелію є найкращим доказом того, що гелій може утворюватися...* Я здаю собі звіт про те, що багато критиків не вважають умови в зорях достатньо придатними

для перетворення елементів – зорі недостатньо гарячі. Цим критикам ми радимо: нехай підуть і пошукають *гарячіше місце*. Щоправда, далі читаємо і таке: «Є багато... міркувань з приводу того, що гіпотеза, яка приписує енергію зір перетворенню водню, є незадовільною... Існують переконливі докази того, що в міру того як зоря стає старішою, вона тратить значну частку своєї речовини..., і це, очевидно, можна пояснити лише анігіляцією матерії. Однак таке твердження є не так вже й послідовним, і я вважаю, що ми не в змозі прийти до певного рішення. В цілому гіпотеза анігіляції матерії виглядає більш обіцяючою...»

Проти ідеї синтезу гелію з водню енергійно і, як здавалося, не без підстав, виступали деякі фізики. Бо з елементарних обрахунків випливало, що температура зоряних надр не перевищує 20–40 млн. кельвінів, а при цьому енергія протонів недостатня для подолання їх взаємного відштовхування, яке діє відповідно до закону Кулона. Бо ж за цим законом, кожна частинка в надрах зір оточена своєрідним «потенціальним бар'єром». Однак, як довели у 1929 р. Ф. Хоутерманс та Р. Аткінсон, у відповідності з принципами квантової механіки існує певна імовірність того, що частинка може подолати згаданий потенціальний бар'єр навіть у випадку, коли її енергія істотно менша його величини (завдяки *тунельному ефекту*). Наближувало розуміння суті процесів синтезу ще й відкриття у 1932 р. Карлом Андерсоном позитрона і Джеймсом Чедвіком (1891–1974, Англія) нейтрона. Через рік були збудовані прискорювачі заряджених частинок, розпочато експериментальне дослідження імовірностей взаємодії протонів з легкими ядрами.

І ось, нарешті, у 1938 р. німецькі фізики Карл Вейцекер і Ганс Бете незалежно один від одного сформулювали відповідь на питання, за рахунок чого світяться Сонце та інші зорі. К. Вейцекер відкрив так званий *вуглецево-азотний цикл* синтезу ядер гелію. Г. Бете (і незалежно від нього Ч. Крітчфілд) – *протон-протонний цикл*. Г. Бете, долаючи великі труднощі, провів математичні обрахунки, що підтвердили ефективність цих реакцій (і за свій цикл робіт отримав Нобелівську премію 1967 р.).

У 1952 р. американський фізик Едвін Солпітер довів, що коли водень у надрах зорі «вигорів», а температура там піднялася понад 10^8 К, то настає «вигоряння» гелію: при одночасному зближенні

трьох ядер гелію утворюється ядро вуглецю (за схемою $3^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + \Delta E_c$). Упродовж наступних, 1954–1957 рр. було встановлено, що при масі зорі $M \geq 1,5M_{\odot}$, коли температура зоряних надр сягає 10^9 К, стають можливими інші типи ядерних реакцій, внаслідок яких (див. розд. 22) утворюються ядра всіх відомих хімічних елементів. Підсумковий аналіз усіх аспектів теорії нуклеосинтезу було зроблено (1957 р.) у спільній великій статті чотирьох авторів – Джефрі Бербіджа (народ. 1925 р.), Елінор Бербідж (народ. 1919 р.), Уільяма Фаулера (1911 – 1995, США) та Фреда Хойла (народ. 1915 р., Англія). Стан цього питання на 1982 р. детально розглянуто в колективній монографії «Ядерна астрофізика» (1986), що була присвячена 70-річчю У. Фаулера.

Відкриття джерел енергії зір безперечно є одним з найвеличніших досягнень людського генію у його намаганні розкрити таємниці навколишнього світу. Можна лише зайвий раз підкреслити, що здійснене воно було спільними зусиллями астрономів та фізиків.

ПРОБЛЕМА ПЕРЕНОСУ ЕНЕРГІЇ. Поглиблення знань про будову зоряних надр певним чином досягали через з'ясування будови зоряних (передусім сонячної) атмосфер, проблем переносу енергії у верхніх шарах зорі та формування її неперервного і лінійчастого спектрів. Важливими тут були дві статті (1902 і 1905 рр.) А. Шустера, в яких він розглянув механізми *розсіювання* (тобто поглинання і перевипромінювання у тих же частотах) випромінювання, що йде з глибших шарів зорі, а також його справжнє *поглинання* (з подальшим *перевипромінюванням* в інших частотах).

У 1906 р. німецький астроном Карл Шварцшильд (1873–1916) дійшов висновку, що при високих температурах зоряної речовини перенос енергії від внутрішніх шарів зорі до її поверхні може здійснюватися завдяки процесам поглинання і перевипромінювання квантів. Згодом, у 1960 р., його син Мартін Шварцшильд написав про це так: «У зв'язку з цим він розвинув уявлення про *променисту рівновагу* і застосував його до атмосферних шарів Сонця. При цьому він показав, що атмосфера Сонця перебуває швидше у променистій, ніж конвективній, рівновазі. Він знайшов також загальний критерій, який дозволяв встановити, перебуває певний шар зорі у конвективному чи променистому стані. Нарешті, він висловив здогад, що при переході до глибших шарів під атмосферою ми залишаємо шари,

які перебувають у променистій рівновазі, і переходимо у конвективну зону».

Так було доведено, що речовина зорі може бути у стані або конвективної, або променистої рівноваги. У 20-х роках А. Еддінгтон (який, за словами О. Струве і В. Зебергс, «зробив більший внесок у розвиток теоретичної астрофізики, ніж будь-який інший астроном, що працював у першій половині ХХ ст.») у своїх працях покладав, що усі зорі від центра до поверхні перебувають у стані променистої рівноваги і що в них жодних конвективних рухів немає.

Невдовзі однак, у 1930 р., німецький астроном Альбрехт Унзольд (1905–1995) довів, що стійкість приповерхневих шарів сонячної атмосфери істотно залежить від зміни з глибиною ступеня іонізації водню. Точніше, в глибших шарах атмосфери, де водень частково іонізований, неминуче формуються конвективні рухи, якими власне і пояснюється як спостережувана грануляція, так і прояви сонячної активності. У 1935 р. його співвітчизник Людвіг Бірман (1907–1986) показав, що товщина цієї *конвективної зони*, очевидно, вимірюється декількома десятками тисяч кілометрів. Перед цим, у 1932 р., він же встановив, що в надрах зір при значній концентрації джерел енергії до центра променистий перенос енергії є недостатньо ефективним і тому в такій зорі неминуче утворюється *конвективне ядро*.

У сформульованій А. Еддінгтоном задачі про перенесення енергії з надр зорі до її поверхні перевипромінюванням квантів поглинання енергії на конкретній відстані від центра зорі та фізичні параметри газу там же (зокрема температура та її градієнт) взаємно обумовлюють себе. Спільно вони і визначають структуру («модель») зорі. Про це мовиться нижче. Що ж стосується не менш складної задачі про перенос променистої енергії через атмосферу зорі, то точність наближених її розв'язків неперервно зростала. Першим тут було наближення Шварцшильда–Шустера (1905–1906 рр.), при отриманні якого вводили деяку «середню інтенсивність», що відповідає середньому значенню функції косинус у півсфері $\overline{\cos\Theta} = 1/2$, де Θ – кут між нормаллю до поверхні випромінюючого шару і напрямом потоку випромінювання. У методі А. Еддінгтона (1929 р.) середнє значення $\overline{\cos^2\Theta}$ приймається рівним $1/3$. Важливим внеском у розробку методів розв'язування рівняння переносу стали праці (1921–1929 рр.) Едуарда Мілна (1896–1950, Англія) у припущенні, що коефіцієнт поглинання

випромінювання речовиною не залежить від його частоти («теорія сірої атмосфери»). Він же запропонував і дослідив інтегральне рівняння («рівняння Мілна»), яким визначається залежність температури в атмосфері зорі від оптичної глибини, розробив модель утворення ліній поглинання в атмосферах зір («модель Мілна–Еддінгтона»), отримав перші надійні оцінки температури і тиску в зоряних атмосферах.

Широке застосування в астрофізиці знайшов розроблений Субраманьяном Чандрасекаром (1910–1995, США) наближений метод (1950/1953), заснований на заміні інтегрального члена рівняння променистої рівноваги сумою Гаусса для числових квадратур, що дозволяє звести задачу до системи лінійних диференціальних рівнянь зі сталими коефіцієнтами. З'ясовуючи ж проблему розсіювання світла в планетних атмосферах, як також закон розподілу яскравості по диску зорі, В. А. Амбарцумян (1908–1996, СРСР, Вірменія) отримав (1952) відповідні розв'язки, виходячи з «принципу інваріантності», за яким відбивна (випромінювальна) здатність напівбезмежного середовища не змінюється, якщо до нього додати шар з такими ж властивостями.

Збагачуючи теорію формування спектральних ліній, В. В. Соболев (1915–1998, СРСР, Росія) увів наближення повного перерозподілу по частотам (1941 р.), вперше (у 1949 р.) отримав строгі розв'язки задачі про утворення ліній поглинання в спектрах зір у цьому наближенні, запропонував імовірнісне тлумачення проблеми переносу випромінювання (1956), детально дослідив асимптотичні властивості полів випромінювання при анізотропному розсіюванні. У свою чергу, В. В. Іванов (народ. 1934 р., Росія) у 60-ті роки виконав цикл досліджень з теорії формування спектральних ліній при відсутності локальної термодинамічної рівноваги, дослідив структуру та асимптотичну поведінку розв'язків рівнянь, які описують перенос випромінювання в частотах спектральної лінії при повному перерозподілі по частотах (1969), запропонував, у працях 70-х років, новий метод розрахунку полів випромінювання у напівнескінченних атмосферах.

Проблеми теорії зоряних атмосфер першої половини ХХ ст. в їхньому історичному розвитку детально викладені в монографіях «Фізика зоряних атмосфер» А. Унзольда (1938/1949) та «Астрофізика»

Лоуренса Аллера (народ. 1913 р., США), середини ХХ ст. – в монографії «Перенос випромінювання і спектри небесних тіл» (1969) В. В. Іванова. Серед книг останнього десятиліття можна виділити англomовну монографію «Числові методи променистого переносу» (1987) Вольфганга Калькофена (Центр астрофізики Гарвардського університету), як також т. 2 «Вступу до зоряної астрофізики» – «Зоряні атмосфери» (1989) Еріки Бем-Вітензе (Вашингтонський університет).

МОДЕЛІ ЗІР. Увесь зміст книги А. Еддінгтона «Внутрішня будова зір» (1926) спростовує його ж слова, нібито «немає нічого простішого, ніж зоря...» Як було з'ясовано вже в 20-х роках, для **побудови моделі** зорі – знаходження розподілу густини і температури від центра зорі до її поверхні – необхідно знати, як залежать від густини, температури і хімічного складу видаєність джерел енергії $\epsilon(\rho, T)$ та непрозорість $\kappa(\rho, T)$. Тому й знання структури зір, зокрема, різних спектральних класів та класів світності, істотно змінювалися завдяки уточненню цих двох параметрів. Водночас уточнення теорії (ефективних перерізів реакцій, уявлень про заселеність енергетичних рівнів окремих іонів електронами, уточнення величини так званого гільйотинного множника у формулі Крамерса тощо) призводило до перегляду загальних уявлень про хімічний склад зоряних надр.

Цей взаємозв'язок добре ілюструють наближеною формулою для температури в центрі зорі, яку легко отримати з умови гідростатичної рівноваги: $T_c \approx \mu G M / A R$, де G і A – відповідно гравітаційна та універсальна газова сталі, μ – молекулярна маса речовини зорі. А. Еддінгтон вважав, що речовина в надрах зорі складається з важких хімічних елементів, а тоді $\mu \approx 2$ (при повній іонізації атома з зарядовим числом Z утворюється $Z+1$ частинок, тимчасом ядро містить приблизно $2Z$ нуклонів, так що $\mu \approx 2Z/(Z+1)$). Звідси випливало, що температура в центрі зорі типу Сонця $T_c \approx 40 \cdot 10^6$ К.

У 1937 р. датський астрофізик Бенгт Стремгрен (1908–1987) зробив істотний крок уперед, поклавши, що речовина Сонця складається (за масою) на 35% з водню ($X = 0,35$) і на 65% з елементів, важчих за гелій ($Z = 0,65$). У цьому випадку $T_c \approx 19,5 \cdot 10^6$ К. Ще пізніше, у 1946 р., М. Шварцшильд дійшов висновку, що водню на Сонці близько 47% ($X = 0,47$), гелію 41% ($Y = 0,41$) і важких елементів 12% ($Z = 0,12$) При цьому $T_c \approx 15,3 \cdot 10^6$ К, оскільки $\mu \approx 0,76$.

У 80-х роках найбільш прийнятним визнано такий хімічний склад речовини Сонця: $X = 0,65$, $Y = 0,33$, $Z = 0,02$, так що $\mu \approx 0,65$ і температура в центрі Сонця $T_c \approx 14$ млн. кельвінів.

Тут доречно навести слова Д. А. Франк-Каменецького (1910–1970, СРСР), написані ним у передмові до книги «Внутрішня будова зір» (1965/1970): «Теорія фізичних процесів, на яких базуються розрахунки внутрішньої будови зір, зазнала настільки сильної деталізації і спеціалізації, що охопити її в цілому вже не під силу одній людині. Активна творча праця у цій царині все більшою мірою вимагає поєднання зусиль декількох спеціалістів, кожний з яких повністю володіє одним із розділів теорії. На цьому рівні неминуха поява колективних робіт...»

Коли ж іде мова про моделі зір, то тут важливим є розрахунок їх для Сонця, яким воно є сьогодні, для зір – представників різних класів світності. Але ще важливішими є обчислення цілих серій моделей з метою з'ясування напрямів еволюції зір, отже – обчислень з різним, продуманим набором параметрів, зокрема хімічного складу, як також таблиць коефіцієнтів непрозорості k з та видайності джерел енергії ϵ . Фізичні основи цих двох останніх проблем були детально проаналізовані, зокрема, у монографії Д. А. Франк-Каменецького «Фізичні процеси в надрах зір» (1959). Ті ж питання, як також аналіз фізичного стану внутрішніх шарів зорі і математичний апарат і прийоми, що їх використано при обчисленнях моделей, описані в монографії М. Шварцшильда «Будова та еволюція зір» (1958/1961).

При вирішенні проблем побудови моделей зір, як ніде інде, підтверджується правильність сказаного астрофізиком А. Дж. Каме-роном, що «наука – це ітеративний процес». Упродовж десятиліть уточнювали ефективні перерізи реакцій, якими забезпечується виділення енергії в надрах зір (їх огляд на середину 60-х років подав, зокрема, Х. Рівс (1970)), як також складання таблиць коефіцієнтів поглинання і непрозорості речовини для широких інтервалів густин, температур та хімічного складу (один з оглядів – А. Кокса (1970)). Удосконалювали і методи обчислень. Завдяки ж ЕОМ вже в 50-х роках побудова однієї моделі зорі головної послідовності тривала менше хвилини.

Як відомо, внутрішню будову зорі описують системою чотирьох нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку. Першим

з них описують градієнт повного тиску, другим – приріст маси при переході від точки z до $z + dz$, далі, у третім випадку променистої рівноваги – градієнт тиску випромінювання або, що впливає з нього, градієнт температури як функції, зокрема, коефіцієнта непрозорості κ і четвертим – приріст світності як функції, зокрема, видаїності ϵ . Однією з труднощів, що тут виникають, є те, що при переході від центра моделі до поверхні шукані функції змінюються на багато порядків.

Одним із методів розв'язування згаданих рівнянь є «метод зшивання», запропонований М. Шварцшильдом 1955 р. Він складається з трьох частин: з інтегрування від центра зорі назовні до певної вибраної точки, інтегрування всередину від поверхні до цієї ж точки і підгонки обох отриманих розв'язків. Запропоновано і декілька видозмін цього методу, зокрема, з двома або більше точками зшивання (1968 р.), з введенням логарифмічних змінних, логарифмічного усереднення (1970 р.), комбінований метод зшивання з різницевим тощо. Саме ж інтегрування здійснюють методом Рунге-Кутта. У 1959 р. Л. Хені запропонував *метод матричної прогонки*. Тут зорю розбивають на N сферичних шарів, приймають, що параметри (ρ , T , κ і т. д.) змінюються стрибкоподібно лише на стику шарів, за незалежну змінну беруть лагранжеву координату – масу у згаданому сферичному шарі. Це дає змогу замінити систему диференціальних рівнянь системою різницевих рівнянь, яку і розв'язують методом ітерацій.

Найістотніші результати. При дослідженні особливостей внутрішньої будови зір 20-го століття було щедрим на результати. Передусім, з'ясовано, що за своєю структурою навіть зоря головної послідовності не може бути однорідною (гомогенною), вона є *гетерогенною*, тобто має складну будову, яку наближено можна зобразити частинами двох політроп. Конкретно, завдяки працям Л. Бірмана (Німеччина) і Т. Каулінга (Англія) наприкінці 30-х років доведено, що зорі з масою $\mathfrak{M} \geq 1,2\mathfrak{M}_{\odot}$ мають конвективне ядро (тут $n = 1,5$) і променисту оболонку ($n = 3$). Для зір з $\mathfrak{M} < 1,2\mathfrak{M}_{\odot}$, зокрема Сонця, навпаки, причому чим більш пізній спектральний клас, тим більша протяжність конвективної оболонки.

Далі, у 1930 р. С. Чандрасекар, досліджуючи структуру зір *білих карликів* як конфігурацій, рівновагу яких забезпечує тиск виродженого електронного газу – це довів Ральф Фаулер (1889–1944) у 1926 р., встановив наявність верхньої межі маси повністю виродженої

конфігурації $\mathcal{M} \approx 1,44\mathcal{M}_{\odot}$. Згодом цю межу було понижено до $1,2\mathcal{M}_{\odot}$, як також названо *межею Чандрасекара* (за цикл досліджень структури зір С. Чандрасекар разом із У. Фаулером 1983 р. отримав Нобелівську премію з фізики). Зразу ж, у 1932 р., Лев Ландау (1908–1968, СРСР) після відкриття того ж року нейтрона пояснив цей факт і навів аналогічні докази щодо існування *нейтронних зір*. Тоді ж Л. Ландау визнав, що для зір, маса яких перевищує вказану, «у всій квантовій теорії не існує причини, яка могла б відвернути колапс системи в точку». Щоправда, далі він заявив таке: «Оскільки насправді такі маси мирно існують у вигляді [нормальних] зір і зовсім не проявляють таких абсурдних тенденцій, доводиться зробити висновок, що всі зорі, важчі від $1,5\mathcal{M}_{\odot}$, мають зону, в якій порушуються закони квантової механіки (і тим самим квантової статистики)».

Наявність межі Чандрасекара привела А. Еддінгтона (1935 р.) до висновку, що масивні зорі в процесі своєї еволюції неминуче мали б стискатися за сферу Шварцшильда, для якої радіус $R_g = 2G\mathcal{M}/c^2$ і на «поверхні» якої сила тяжіння $F = \infty$. Інакше кажучи, кінцевим результатом еволюції такої зорі мала б ставати *чорна діра*. А. Еддінгтон писав: «Зоря, очевидно, повинна дуже довго випромінювати і стискуватися, доки не досягне радіуса в декілька кілометрів, при якому тяжіння стане достатньо сильним, щоб втримати випромінювання, і зоря зможе, нарешті, набути спокій». Щоправда, він же додав: «Я дійшов висновку, що це майже доведення до абсурду формули релятивістського виродження. Різноманітні фактори можуть зіграти свою роль, спасаючи зорю. ...Я допускаю, що повинні існувати закони природи, які роблять неможливою таку абсурдну поведінку зорі».

У 1939 р. А. Ейнштейн в одній із статей доводив, що речовина не може стиснутися всередину сфери Шварцшильда. Однак у тому ж році Роберт Оппенгеймер (1904–1967, США) разом зі своїми співробітниками довів протилежне: можливість *релятивістського колапсу*, тобто катастрофічного і необмеженого руху речовини до центра зорі.

До речі, ідею чорної діри висловив у 1776 р. учень Г. Кавендіша (Англія) Майкл, виходячи з міркувань, що швидкість світла, яке звершує роботу в полі тяжіння зорі, повинна зменшуватися і цей ефект мав би давати можливість визначати масу зорі. Згодом, у 1795 р., П. Лаплас писав: «...зоря з густиною, рівною густині Землі, і діаметром в 250 разів більшим за діаметр Сонця, не дає жодному

світловому променеві досягнути нас завдяки своєму тяжінню, а тому не виключено, що найяскравіші тіла у Всесвіті з тої причини є невидимими». Саме ж слово «чорна діра» вперше вжив у 1968 р. Джон Уїлер (США).

Перші моделі нейтронних зір обчислені Р. Оппенгеймером та Дж. Волковим у 1939 р.

§ 2. НЕСТАЦІОНАРНІ ЗОРІ

Вивчення зір, які в той чи інший спосіб змінюють свій блиск, дає можливість визначати їхні параметри – масу і розміри (подвійні затемнювані зорі), з'ясувати особливості їхньої будови та встановлювати вік – оскільки змінність зорі є нормальною стадією в її розвитку – і тим самим також отримувати певну інформацію про структуру Галактики (фізичні змінні). Тому і в ХХ ст. дослідженню цих об'єктів віддано багато зусиль. Їх відомо вже понад 50 000.

Пульсуючі змінні зорі. Велику групу фізичних змінних зір становлять зорі, зміни блиску яких обумовлені розширюванням і стискуванням – *пульсацією* – зорі. Це передовсім *цефеїди* (прототип – зоря δ Цефея, відомо близько 700), *ліриди* (типу RR Ліри, бл. 6000), *віргініди* (типу W Діви, бл. 300), змінні зорі типу δ Щита (бл. 130), довгоперіодичні або *міриди* (типу o Кита, бл. 5000), *напівправильні* (типу α Оріона, бл. 2400), *неправильні* (типу α Геркулеса, бл. 2000) і *тауриди* (типу RV Тельця, понад 100), як також зорі з нерадіальними пульсаціями (типу β Цефея, бл. 40). У ХХ ст. досягнуто важливих результатів не лише у вивченні окремих проявів нестаціонарності цих зір, а й в теоретичному їх осмисленні.

СПОСТЕРЕЖЕННЯ. Одним із найважливіших результатів при вивченні 25 цефеїд у Малій Магеллановій Хмарі було встановлення у 1912 р. Хенрієтою Лівітт (1868–1921, США) такої залежності: чим більша світність зорі, тим більшим є період зміни її блиску (рис. 5. 2). Зразу ж Е. Герцшпрунг та Х. Шеплі поширили цю залежність на цефеїди нашої Галактики, встановивши нуль-пункт залежності. Це дало змогу використовувати цефеїди (ці своєрідні «маяки Всесвіту») для встановлення відстаней як до окремих груп зір у нашій Галактиці, та і до інших, ближчих галактик. Щоправда, у 1952 р. Вальтер Бааде (1893–1960, США) на підставі досліджень найяскравіших зір у туманності Андромеди (M 31) довів, що насправді цефеїди мають на

1,5^m більшу світність, а, отже, усі відстані, визначені цим методом, було збільшено удвічі. Згодом, у 1961 р., Роберт Крафт (США)

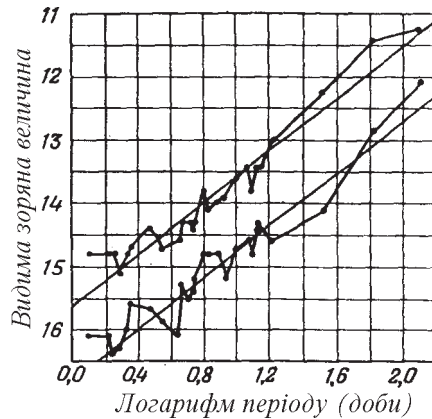


Рис. 5. 2. Співвідношення між зоряними величинами і логарифмами періодів змінних зір Малої Магелланової Хмари, встановлене Х. Лівіттом (1912 р.) (прямі лінії вказують максимальні та мінімальні яскравості).

У 1985 р. Х. Дізі та П. Вейман (Англія), провівши статистичний аналіз даних про 115 цефеїд з Магелланових Хмар, виявили, що у близько 40% з них періоди змінюються, причому часто ці зміни нерівномірні в часі. Як фізичні причини цих явищ впливають з теорії еволюції зір, ще належить з'ясувати.

До лірид ($P = 0,2...1,0^d$), яких багато виявлено в кулястих скопченнях, привернув увагу Х. Шеплі у 1918 р. Однак він помилково вважав, що їх абсолютна величина $M \approx 0^m$ і що вони вкладаються на одну з цефеїдами залежність період–світність. І лише в 1952 р. стало очевидним, що ліриди мають менші M і що тому відстані, встановлені за спостереженнями лірид, необхідно переглянути.

У 1923 р. С. М. Блажко (1870–1956, СРСР) у деяких лірид виявив ритмічні зміни періодів і форм кривих блиску – «*ефект Блажка*». В середньому *період Блажка* $P_B \approx 20...40^d$, загалом же його межі – від 11 до 537^d . Згодом В. П. Цесевич (1907–1983, СРСР) встановив зв'язок особливостей зміни цих періодів з положенням лірид у Галактиці. Ефект Блажка проявляється тим сильніше, чим меншим є вміст

підтвердив результат В. Бааде. У 1957 р. голландський астроном П. Остерхоф вперше виявив цефеїди з подвійними періодами. У підсумковій таблиці 1977 р. Д. Фолкнера їх налічується 11, згодом виявлено ще одну. Основні періоди для цих зір $P_0 = 2...6$ діб, відношення періоду обертоку P_1 до P_0 для всіх зір дуже близьке до 0,71. Як довів у 1973 р. Дж. Петерсен, знаючи лише ці два періоди, можна з теоретичних міркувань визначити масу і радіус зорі. Як з'ясовано, маси цефеїд, залежно від періоду, є в межах $3...16M_\odot$, однак різні методи дають маси, які можуть відрізнитися в три рази.

металів в атмосфері зорі. У 1976 р. Б. Сейдл (Угорщина) вказав, що фундаментальне значення для розуміння природи ефекту Блажка може мати змінність магнітного поля зорі. На доказ цього А. Казенс (Англія) у 1983 р. пояснив наявність циклу ефекту Блажка ($P_B = 41^d$) в RR Ліри накладанням радіальних пульсацій, обертання і магнітного поля. Тут враховують, що зоря – нахилений ротатор, який обертається не навколо магнітної, а нахиленої до неї осі. Той факт, що в процесі обертання спостерігач бачить пульсуючу зорю під різними кутами, і створює модуляцію пульсації основного тону.

У 1918 р. Х. Шеплі, будуючи залежність період–світність для виявлених у трьох кулястих скупченнях змінних зір з періодом 2...30 діб, вважав, що їх світності є такими ж, як і в розглянутих раніше Х. Лівітт, оскільки їхні криві блиску були дуже подібними. І – як висловився Ю. М. Єфремов (Росія), «...Шеплі зробив неправильний крок, наслідки якого понад тридцять років мучили астрономів...» Лише в 1952 р. було остаточно доведено, що йдеться про зовсім інший клас зір. Світності віргінід на близько $1,5^m$ менші, ніж у цефеїд, що обумовлене, очевидно, істотно меншим вмістом важких хімічних елементів у речовині цих зір. Крім того, маси віргінід в середньому близькі до $0,55 M_{\odot}$.

Як виявили у 1968 р. Дж. Ферні та С. Демерс, в однієї із віргінід – RU Жирафа ($P = 22,26^d$, амплітуда в 1962 р. близько $1,3^m$) блиску у 1964 р. перестав змінюватися (причина цього явища все ще не з'ясована). І лише з 1967 р. коливання блиску зорі відновилися. Спектральні дослідження показали, що в атмосфері цієї зорі багато вуглецю, що свідчить про значні втрати нею своєї маси в минулому (§ 3).

Перший кандидат у групу зір типу δ Щита («змінних з ультракоротким періодом»: $P < 0,3^d$) виявлений у 1934 р. Куно Гоффмейстером (1892–1968, Німеччина), це зоря СУ Водолія з періодом $0,061^d (= 88 \text{ хв})$ та амплітудою $0,73^m$. Зростання блиску до найбільшого в неї відбувається усього за 10 хв. Для зір цього типу типовою є наявність двох і більше періодів, на кривій блиску самої δ Щита їх виявлено дев'ять, включаючи і нерадіальні моди; є періоди, пов'язані з взаємодією мод. Теоретичні міркування вказують на те, що йдеться про радіальні пульсації, однак не всі ці зорі пульсують в основному тоні коливань.

Зіставлення *мірид* і *напівправильних змінних* щодо їх розподілу за періодами було здійснене Янісом Ікаунієксом (1912–1969, Латвія) у 1963 р. та в 1986 р. Р. Штейнер-Зоном. Знайдено, що періоди зміни

блиску перших в межах $50\dots 900^d$, причому найбільша їх кількість припадає на $250\dots 300^d$. Для других $P \approx 40\dots 1000^d$ з максимумом при $100\dots 150^d$. У 1949 р. Б. В. Кукаркін виявив, що в напрямі на центр Галактики мірид багато і вони мають відносно короткі періоди, тоді як у напрямі антицентра їх мало і ці періоди більші (320^d проти 250^d).

Очевидно, типовим для мірид є коливання тривалості періоду зміни блиску. Статистичний аналіз даних, зокрема, про 357 зір провів у 1967 р. К. Фойхтер. З'ясовано, що, зокрема, зоря R Вололія в момент її відкриття у 1856 р. мала період 346^d , до 1976 р. він зменшився до 284^d і за деякими прогнозами у 2250 р. досягне найменшого значення 210^d . Зоря R Гідри у 1704 р. мала період 500^d , у 1913 р. – 405^d , у 1952 р. 386^d , до того ж величина періоду може змінюватися стрибками. Усі ці явища, безперечно, обумовлені процесами, які відбуваються в надрах зір, однак не всі їхні аспекти мають належне пояснення.

Для розуміння фізики процесів у поверхневих шарах зір типу β Цефея, механізмів збудження поперечних хвиль невеликої амплітуди, які поширюються по поверхні зорі, важливими стали дослідження бельгійського астронома Поля Леду (1914–1988). Однак дотепер причина змінності цього типу зір не до кінця з'ясована. Це стосується і зір типу ZZ Кита, що є білими карликами. Перший з цих об'єктів випадково виявлений у 1968 р. А. Ландольтом (США), це зоря V441 Тельця, її амплітуда $0,3^m$ – найбільша з відомих. Зміна блиску самої ZZ Кита – усього $0,01^m$. Усі ці зорі – мультиперіодичні, в окремих об'єктів можна одночасно виявити понад 20 періодів.

Вартий уваги і об'єкт, очевидно, нового типу – зоря GW Діви (14^m), що відкритий у 1979 р. при спостереженнях на багатодзеркальному телескопі. Амплітуда зміни блиску $0,03^m$, періоди 460 і 539 с. Ефективна температура зорі $T_{\text{eff}} \geq 120\,000$ К. за всіма даними, ця зоря перебуває на стадії «до білого карлика». Спостережуване зменшення періодів пояснюється еволюційним стискуванням і пов'язаним із ним прискоренням обертання.

АСПЕКТИ ТЕОРІЇ. На початку ХХ ст. серед астрономів популярною залишалася теорія, за якою цефеїди – це подвійні зорі. Зокрема, Герберт Кертіс (1872–1942, США) пояснював збільшення блиску цефеїди тим, що поверхня одного з компонентів, який рухається з прискоренням біля периастру, сильно розігрівається за рахунок тертя з речовиною, що оточує цю зорю. Дж. Джинс у 1926 р.

допустив, що цефеїди – це зорі, які мають грушеподібну форму (форму «фігур Пуанкаре») і які згодом розриваються на дві частини. Зміни блиску нібито виникають завдяки обертанню такої зорі та її коливанню уздовж більшої осі (її видовженню та скорочуванню). Аналогічну гіпотезу висловлювали Ф. Хойл і Р. Літлтон в 1943 р.

Той факт, що цефеїди є пульсуючими зорями, обґрунтував Х. Шеплі у 1914 р., довівши тоді, що радіуси цефеїд в десятки разів перевищують відстані між компонентами подвійних, про які говорив Кертис. Розробку теорії пульсацій розпочав у 1917 р. А. Еддінгтон, вказавши два джерела поповнення енергії пульсацій: періодичне посилення інтенсивності ядерних реакцій в надрах зорі або ж зміна здатності її зовнішніх шарів пропускати потік енергії, що виходить на поверхню зорі. Відбиваючи критику з боку Джинса й удосконалюючи теорію пульсацій, Еддінгтон у 1941 р. дійшов висновку, що коли «працює» саме цей другий механізм (в чому Еддінгтон все таки не був упевнений), то зміна світлового потоку може бути пов'язана зі зміною процесів іонізації та рекомбінації водню у зовнішніх шарах зорі. Однак обчислення показали, що енергії, яка затримується сферичним шаром водню при його іонізації, недостатньо для того, щоб підтримувати пульсаційний рух верхніх шарів зорі.

Тому і в 40-х роках астрономи зосереджували свою увагу на центральній теорії пульсацій. Зокрема, в монографії «Теорія пульсацій змінних зір» (1949 р.) норвезький астроном Свен Росселанд (1894–1985) дав аналіз цієї теорії. Було очевидним, що наявне у цефеїд випередження максимуму блиску (на чверть періоду) відносно моменту досягнення зорею найбільших розмірів ця теорія пояснити не в змозі. З 1951 р. теорію центральних пульсацій розвивав Д. А. Франк-Каменецький у припущенні, що коливання інтенсивності ядерних реакцій обумовлюють появу не лише механічних хвиль стиску й розширення, а й теплових хвиль. Саме ці другі мали б переносити енергію назовні і змушувати верхні шари зорі пульсувати. Проте виявилось, що в умовах реальних зір хвильові рухи, які виникають поблизу центра, доносять до їх поверхонь дуже малу частину своєї енергії. У 1953–1957 рр. С. О. Жевакін (народ. 1916 р., СРСР, Росія) довів, що механізм підтримування пульсацій є саме в оболонці зорі, на її периферії, що це – сферичний шар двократно іонізованого гелію: при розширенні та охолодженні газу відбуваються процеси рекомбінації та

поширеного випромінювання енергії, при стискуванні – іонізація і нагромадження енергії, зростання тиску, що обумовлює наступне розширення зовнішніх шарів зорі. Для пульсуючих зір-гігантів С. О. Жевакін отримав теоретично різні фазові зміщення моментів максимуму блиску та найбільшого радіуса залежно від спектрального класу зорі, що цілком узгоджувалися зі спостереженнями.

Наприкінці 50-х років Р. Крісті (США) дещо уточнив теорію Жевакіна і провів серію обчислень на ЕОМ. При цьому, зокрема, оболонку зорі ділено на 40 сферичних шарів. Розраховували зміни температури, густини і радіуса в кожному шарі зокрема. Доведено, що пульсації виникають на тій стадії еволюції зорі, коли вона, вичерпавши свої запаси водню в ядрі, перетворюється в червоного гіганта (§ 3).

Еруптивні зміни. До цієї групи зір залічують зорі, зміна блиску яких обумовлена вибухоподібними процесами. Однак, ті з них, інформацію про які отримано в позаоптичних спектральних діапазонах, доцільно виділити окремо. Отже, йдеться про нові, новоподібні, наднові зорі.

Спостереження. Як відомо, у ХХ ст. спостерігалися лише три нові з високим видимим блиском. Це нова GK Персея 1901 ($0,2^m$), Нова V 603 Водолія 1918 ($-1,1^m$) і Нова CP Корми 1942 ($0,5^m$). Близьк Нової V 1500 Лебеда 1975 сягав $1,8^m$. За даними (1977 р.) Сесилії Хеліни Пейн-Гапошкіної (1900–1979, США), відомо 177 нових зір, причому 61 з них спостерігалися в мінімумі блиску, найбільші амплітуди мали Нова Корми 1942 ($16,6^m$) і Нова Лебеда 1975 ($18,8^m$).

З впевненістю розрізняють *швидкі* і *повільні* нові, однак різниці амплітуд в них не виявлено. Спостережувальні дані вказують на скупченість нових у напрямі на галактичний центр, тоді як у протилежному напрямі їх мало. Такий розподіл є типовим для старих об'єктів Галактики. Водночас існує концентрація нових до галактичної площини, як і в випадку молодих зір. Суперечність пояснюють тим, що спостерігається лише незначна частина нових, що обумовлене, зокрема, міжзоряним поглинанням.

Як зауважила С. Пейн-Гапошкіна, найімовірніше, нові є у всіх вікових класах. Висновок про те, що астрономам вдавалося зареєструвати лише незначну частину нових Галактики (орієнтовно 2–3 спалахи за рік замість, можливо, 100) підтверджує частота їх спалахів в туманності Андромеди: до 1929 р. у Гарвардській обсерваторії

в М 31 зареєстровано понад 80 нових. Загалом же до початку 90-х років виявлено близько 180 нових у Галактиці і 250 в М31.

З початку ХХ ст. було відомо декілька зір як *повторно нових*. Це, зокрема Т Компаса (спалахи у 1890 і 1902 рр., далі у 1920, 1944, 1966 рр., величина в максимумі $m_* = 7,0^m$, амплітуда $\Delta m = 7,1^m$), RS Зміеносця (1898, 1933, далі 1958, 1967, 1985, $m_* = 4,3^m$, $\Delta m = 7,2^m$), як також виявлені на початку 40-х років У Скорпіона (1863, 1906, 1936, 1979, 1987, $m_* = 6,7^m$, $\Delta m = 10,6^m$), V 1017 Стрільця (1901, 1919, 1973, $m_* = 7,2^m$, $\Delta m = 7,1^m$). Орієнтуючись на зорі типу У Близнят, які спалахують циклічно, П. П. Паренаго, і Б. В. Кукаркін у 1934 р. висловили припущення, за яким і для нових зір існує певна залежність «період-амплітуда». Так ними було передбачено спалах зорі Т Північної Корони «через 80–100 років» після першого (який трапився у 1866 р.), що й спостерігали у 1946 р. ($m_* = 2^m$, $\Delta m = 8,6^m$). До того ж явище спалаху цієї зорі аматор астрономії залізничник А. С. Каменчук зауважив на добу раніше, ніж інші спостерігачі.

У 1952 р. А. Джой (США) встановив, що зоря SS Лебедя – представник карликових нових, тобто зір типу У Близнят – є спектрально-подвійною. Він же через два роки виявив, що подвійною є й інша карликова нова – АЕ Водоля. Такий же результат отримав у тому ж 1954 р. М. В. Уокер (США) щодо Нової DQ Геркулеса 1934 р., а Р. Крафт (1958 р.) довів подвійність зорі Т Північної Корони. До 1977 р. вже було відомо, що п'ять нових і шість карликових нових є затемнювано-змінними, а п'ять нових і вісім карликових нових – спектрально-подвійними зорями. У 1963 р. Уокер висловив припущення, за яким подвійність є загальною рисою нових.

Увагу дослідників привернули і зорі типу АМ Геркулеса, або *поляри*. Зорю, що стала прототипом цих об'єктів, відкрито в 1923 р., однак до 1976 р. її залічувано до неправильних змінних. У 1976 р. вона ототожнена з рентгенівським джерелом. Короткоперіодичні зміни блиску тут можна пояснити орбітальним рухом подвійної зорі з періодом 3,1 год. Цікавим є те, що у синіх променях мінімум блиску, обумовлений затемненням компонента, настає через 35 хв після мінімуму в червоних, а в ультрафіолетових променях – на годину пізніше. У рентгенівських променях затемнення повне і триває воно 28 хв. Назву «поляр» АМ Геркулеса і 12 споріднених з нею об'єктів надали їм польські астрономи В. Кшемінський і К. Серковський

з огляду на наявність сильної (до 30%) змінною лінійної і колової поляризації їх світла.

ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ. Як влучно зауважив В. О. Бронштен (1974), «навіть чи якимось іншим чином так підвело вчених до глухого кута і внесло цілковиту розгубленість в їхні думки, як спалахи нових..., число гіпотез щодо походження нових перевищувало кількість самих нових, які спостерігали за всю історію людства». Ось деякі здогади, які висловлені наприкінці ХІХ ст.:

Гуго Зелігер: зоря на своєму шляху зустріла туманну газоподібну масу і пройшла через неї, спричинивши її світіння, водночас розігрівшись сама; можливо, що зоря при цьому втрачає стійкість і вибухає.

Норман Лок'єр: зустрілися два метеорних потоки, з яких один наближався до нас, інший віддалявся.

Сванте Арреніус (1859–1927, Швеція): це – зіткнення двох слабких і згаслих небесних тіл.

Вільгельм Клінкерфус, (Німеччина): нові зорі – це подвійні системи, супутник рухається по дуже витягнутій орбіті, і коли він наближується до головної зорі, то своїм притяганням спричиняє сильний приплив на її поверхні, а можливо, – ряд спалахів і викидів, які є причиною різкого зростання блиску.

У 1937 р. Мілн пов'язав явище спалаху нової зі зміннами у внутрішній будові зорі. Розглядаючи проблему еволюції зір, Мілн дійшов висновку, що в момент спалаху зоря, досягнувши якоїсь нестійкості стану, стискається (її радіус зменшується у 20–30 разів) і перетворюється на білий карлик. І, нарешті, у 1958–1959 рр. Еврі Шацман (Франція) і Зденек Копал (1914–1993, Англія) незалежно один від одного дійшли висновку, що усі колишні і повторні нові є подвійними системами. У 1967 р. Р. Крафт уточнив цей висновок твердженням, що практично всі нові є тісними карликовими подвійними системами з орбітальним періодом декілька годин. Типова нова складається з порівняно холодної зорі головної послідовності з масою $\sim 0,1-1 M_{\odot}$, яка заповнює свою порожнину Роша, і виродженого гарячого, можливо, вуглецево-кисневого карлика, що захоплює багату на водень речовину супутника.

Теорію нових вдалося побудувати з використанням даних про спалахи в усіх спектральних діапазонах. Ця проблематика викладена у великій кількості публікацій, огляд яких подано, зокрема,

у монографіях А. Г. Масевич і О. В. Тутукова (1988), та К. Гоффмейстера, Г. Ріхтера і В. Венцеля (1990).

Наднові. Як зазначено у згаданій монографії К. Гоффмейстера, Г. Ріхтера і В. Венцеля, «досліджувати причини спалахів наднових означає... займатися фізикою невідомих об'єктів. Але не слід втрачати мужність. За допомогою статистичних методів дослідження і висновків теорії зоряної еволюції можна обмежити коло об'єктів, в яких могли б траплятися такі найсильніші вибухи...»

З достовірністю відомо п'ять спалахів наднових у Галактиці. Це передусім Наднова 1006 р. у сузір'ї Вовка. За повідомленнями арабських, китайських, японських та корейських хронік її було видно понад два роки, блиск зорі у максимумі сягав яскравості Місяця у першій чверті ($m_* = -9^m \dots -10^m$). Наднова 1054 р. в сузір'ї Тельця досягла в максимумі величини $m_* = -4^m$, Наднова Тіхо Браге 1572 р. – зоря В Кассіопеї ($m_* = -4^m$), Наднова Кеплера 1604 р. у Змієносці ($m_* = -3^m$). Наслідком спалаху п'ятої наднової вважається потужне джерело радіовипромінювання Кассіопея А, подія трапилася у 1658 (± 3) році, однак самого спалаху блиску не зауважено.

До 1979 р. відкрито близько 380 наднових в інших галактиках, у каталозі 1984 р. їх налічували 568.

Уявлення про те, що йдеться саме про особливий тип об'єктів, склалося не зразу. Почалося все з того, що у 1885 р. астроном Тартуської обсерваторії Ернст Гартвіг (1851–1923) виявив у туманності Андромеди нову зорю $6,5^m$. Після того, як у 1919 р. Кнут Лундмарк (1889–1958, Швеція) визначив відстань до об'єкта (М 31) в 650 000 світлових років, стало очевидним, що ця нова істотно виділяється серед інших таких же об'єктів, оскільки її світність у максимумі перевищувала L_{\odot} не в десятки тисяч, а принаймні у 100 млн. разів. Лундмарк і зробив висновок, за яким у галактиках зрідка спалахують «гігантські нові». Згодом, у 1934 р. Вальтер Бааде і Фріц Цвіккі (1898–1974, Швейцарія) назвали їх надновими. Вони ж тоді висловили припущення, що спалах наднової настає внаслідок перетворення звичайної зорі в нейтронну, як тільки в її надрах вичерпуються джерела енергії (про їх природу тоді мало що було відомо). Ця гіпотеза блискуче підтвердилася. Інформацію ж про всі «надзвичайні» зорі, які спостерігали в минулому, опублікував А. Гумбольт в 1850 р. у III томі свого «Космосу». Повніший каталог «нових зір», зафіксованих у

різних хроніках, склав німецький історик астрономії Е. Ціннер (1886–1970) у 1919 р. У 1921 р. Лундмарк, піонер у дослідженні наднових, вперше виділив їх зі списків нових зір, склавши каталог на підставі головним чином китайських джерел.

Зі зростанням числа виявлених наднових виникла потреба їх класифікації залежно від форми кривої блиску, абсолютної величини та особливостей спектра. У 1941 р. Рудольф Мінковський (1895–1976, США) розділив наднові на два типи. До першого (SN I) увійшли наднові з експоненціальним спадом блиску, зокрема Наднові Тіхо Браге і Кеплера, до другого (SN II) – об'єкти, в яких на певний час є затримка спаду блиску. Однак Р. Мінковський допустив, що спектр SN I є сукупністю бледуючих одна одну емісійних смуг, і це помилкове уявлення проіснувало понад 25 років. Лише в 1963 р. Дін Мак-Лафлін (1901–1965, США) розшифрував спектри наднових I типу, інтерпретуючи їх як спектри поглинання. У 1967 р. Ю. І. Псковський (СРСР) побудував зведені криві кольору для обох типів наднових і ототожнив деякі лінії в спектрах SN I. Цю роботу успішно продовжив у 70-х роках Е. Р. Мустель (1911–1988, СРСР). Детальний аналіз спектрів наднових II типу здійснили у 1972 р. Д. Бренч і Р. Петчіт (Англія). В середині 50-х років Ф. Цвіккі, детальніше класифікуючи криві блиску наднових, виділив з SN II наднові III–V типів, однак згодом було визнано, що спектральні дані для цього не дають підстав. Доречно зауважити, що Ф. Цвіккі виявив близько 100 наднових в інших галактиках.

Дослідження ядерних процесів, що призводять на заключній стадії еволюції масивної зорі до колапсу її ядра, до спалаху як наднової, найперше провели Ф. Хойл та У. Фаулер у 1960 р. Прийнято було до уваги результат (1940–1941 рр.) Г. Гамова та М. Шенберга, які звернули увагу на винятково важливу роль нейтринних потоків (так званий урка-процес) в охолодженні зоряних надр і в пришвидшенні їх стискування. У 1966 р. С. Колгейт і Р. Уайт, а невдовзі Д. Арнет (Англія) розпочали моделювання спалахів наднових на ЕОМ. Аналогічні серії обчислень у 70-х та 80-х роках провели у Москві В. І. Імшенник і Д. К. Надьожин, які дослідили, зокрема, роль ударних хвиль у перенесенні енергії та імпульсу від надр зорі до її поверхні.

Піонерами ж у дослідженні ролі ударних хвиль у теорії наднових (і нових) зір були О. І. Лебединський (1913–1967, СРСР), С. А. Каплан (1921–1978, СРСР), Д. А. Франк-Каменецький. Передусім вони довели, що ударна хвиля, рухаючись з надр зорі до поверхні політропи індекса 3, збільшує свою швидкість, яка в певний момент перевищує параболічну. Так зроблено висновок, що оболонка зорі може отримати імпульс назовні саме за допомогою цього механізму. Закономірності ж змін швидкості ударної хвилі при її русі в неоднорідних середовищах дослідили І. А. Климишин та Б. І. Гнатик (1981 р.).

У 1964 р. М. С. Кардашов (народ. 1932 р., Росія) доповнив теорії спалаху наднової ефектами магнітогідродинаміки, довівши, що залишок такого спалаху є дуже намагніченою нейтронною зорею, яка швидко обертається навколо своєї осі.

Виявлення у 1967 р. Дж. Белл та Е. Х'юїшем (Англія) радіопульсарів – молодих нейтронних зір, які швидко обертаються – відкрило нову сторінку у вивченні залишків спалахів наднових, їх відомо вже близько 400. Проблеми залишків спалаху наднових розглянуто, зокрема, на симпозіумі МАС №101 у 1983 р. В його матеріалах – каталог 135 залишків галактичних наднових, складений С. ван ден Бергом. Загалом же залишків доісторичних наднових відомо близько 150.

Як вже згадано, видатною подією в астрономії став спалах Наднової 1987А у Великій Магеллановій Хмарі ($m_* = 2,9^m$). Фотометрично цей об'єкт не вдалося включити у класифікаційну схему, спектральні ж дані свідчать, що це наднова II типу. Йдеться про спалах надгіганта спектрального класу В3 видимої величини $12,1^m$ – об'єкта «Сандулік –69°202».

Загадкові змінні. Є декілька типів нестаціонарних зір, природа яких все ще не з'ясована остаточно. В їхньому числі три типи подвійних зір (симбіотичні, маломасивні і масивні рентгєнівські подвійні), зорі, що перебувають на дуже ранніх стадіях еволюції (зорі типу Т Тельця, спалахуючі зорі типу UV Кита), як також гарячі змінні з протяжними оболонками (типу S Золотої Риби, зорі Вольфа–Райє) і зорі типу R Північної Корони. Огляд даних про ці об'єкти зроблений, зокрема, К. Гоффмейстером та ін. (1990).

Модель *симбіотичної зорі* (тип Z Андромеди, на 1984 р. їх було відомо 144) як подвійної системи розробили у 1969 р. О. О. Боярчук (народ. 1931 р., Росія) і в 1973 р. А. Каулі та Р. Стенсел. Каталог

цих зір з картами околиць опублікував у 1984 р. Д. Аллен. Маломасивною рентгенівською подвійною зорею є, зокрема, рентгенівське джерело Геркулес Х-1, яке у 1972 р. В. Ліллер ототожнив зі змінною HZ Геркулеса, виявленою К. Гоффмейстером у 1936 р. Таких об'єктів на 1990 р. налічувалося 14.

До початку 1981 р. відкрито 40 рентгенівських барстерів (перший з них – у 1975 р. в кулястому скупченні NGC 6624). Тут окремо виділяють швидкий барстер МХВ 1730-335, в якого крім звичайних спалахів спостерігають швидкі спалахи – до 1000 разів за добу.

В деяких рентгенівських нових паралельно з рентгенівським спостерігається і оптичний спалах.

Відомо близько 25 масивних рентгенівських подвійних зір. Особливе місце серед них займає джерело Лебідь Х-1, що є невидимим супутником оптичного об'єкта V 1357 Лебеда (її змінність було виявлено у 1973 р.). За однією з гіпотез, цей невидимий компонент має масу $5M_{\odot}$ і є чорною дірою. Не менш цікавим залишається об'єкт SS 433 = V 1343 Водоля – «екстремальний випадок рентгенівської подвійної зорі», яка лише за 8 років (1978–1986) «зібрала про себе» близько 400 публікацій.

Серед молодих зір виділяють передусім зорі типу Т Тельця. У «Другому каталозі емісійних зір оріонового населення» (1972 р.) Г. Хербіга і Н. Рао є 323 об'єкти. Найвідомішою з цих зір з 1937 р. є FU Оріона, що й стала прототипом *фуорів*. Ще ефектнішою є V 1057 Лебеда, до осені 1969 р. – звичайна зоря типу Т Тельця. За близько 300 діб її блиск зріс від 16 до 10^m , упродовж наступних 10 років він зменшився на $2,5^m$. Як зауважив Хербіг (1977 р.), переконливого фізичного пояснення поведінки фуорів ще не знайдено. За одним із варіантів, це може бути наслідком їх екранування навколосоряною оболонкою.

Не до кінця з'ясована природа *об'єктів Хербіга–Аро* – маленьких слабких туманних утворів у темних хмарах в межах Т-асоціацій. Виявлені поблизу інфрачервоні джерела («зорі Хербіга – Аро») можуть бути попередниками зір типу Т Тельця, прихованими за дуже товстими пиловими навколосоряними оболонками.

Спалахуючих зір *типу UV Кита* налічено близько 1000. Р. Є. Гершберг (народ. 1933р., Україна) у 1970 р. проаналізував 10 гіпотез щодо їхньої природи. Найімовірнішою є паралель з сонячною активністю.

Серед гарячих зір з протяжними оболонками виділяють передусім *зорі Вольфа–Райє*. У списку Ван дер Хухта та ін. (1981 р.) налічують 459 об'єктів. З 23-х зір, що змінюють свій блиск, принаймні 7 є затемнюваними змінними. За однією з гіпотез, змінність може бути обумовлена і нерадіальними пульсаціями однієї з зір.

Усього до 1980 р. було відомо 8 об'єктів зір *типу S Золотої Риби* – наднадгігантів з абсолютною величиною $M \approx -8 \pm 2^m$. Два з них належать до галактики М 31. Інша їх назва – *змінні Хаббла–Сендіджа*. В інших галактиках їх налічують понад 10. Найефектніший представник цієї групи – зоря η Кіля. За даними К. Девідсона і Р. Хемфріса (1986 р.), цей об'єкт складається з чотирьох компонентів, причому маса головної зорі сягає $100 M_{\odot}$. В наш час зоря втрачає масу зі швидкістю $7,5 \cdot 10^{-2} M_{\odot}/\text{рік}$.

Щодо зір *типу R Північної Корони*, то і сьогодні актуальна гіпотеза, запропонована в 1934 р. Е. Лорета і в 1939 р. Дж. О'Кіфом, зменшення блиску обумовлені затемнюванням зорі хмарою вуглецевих частинок. Впевнених уявлень про стадію еволюції цих зір ще немає.

СОНЦЕ ЯК ЗОРЯ ЗМІННА. Перелічимо лише деякі явища, які відбуваються у верхніх шарах Сонця і які виявляють ознаки змінності з часом.

Передусім заслуговує уваги детальніше вивчення у 1905–1907 рр. Олексієм Ганським (1870–1908, Росія) *грануляції*. Ганський встановив, що середня тривалість життя окремих гранул становить 2...6 хв. Він же підтвердив залежність форми сонячної корони від фази плямотворної активності.

Як вже було згадано, у 1908 р. Дж. Хейл виявив магнітне поле сонячних плям. Невдовзі, у 1913 р., він же зробив висновок що Сонце в цілому можна розглядати як намагнічену сферу (диполь) з напруженістю біля полюсів близько 50Е. У 1924 р. він зменшив це число до $H \approx 20\text{Е}$. Уточнення H тривало в обсерваторії Маунт Вілсон до середини 50-х років, коли було вказано верхню межу $H \approx 1\text{Е}$. Крім того, Хейл у 1923 р. встановив факт зміни полярності магнітного поля плям у кожному наступному циклі сонячної активності.

Досліджуючи променеві швидкості за спектрами плям, англійський астроном Джон Евершед (1864–1956) у 1909 р. виявив витікання газу з ядер плям у горизонтальному напрямі – «*ефект Евершеда*» – зі швидкостями до 2 км/с. У 1858 р. Р. Керрінгтон зауважив зміну зони утворення плям з фазою сонячної активності. Згодом Густав

Шперер оформлював це як *закон Шперера*. У 1922 р. англійський астроном Е. В. Маундер побудував відому *діаграму «метеликів»*, що дає наглядне уявлення про особливість плямоутворення.

Що ж стосується теорії сонячних плям, то «робочу модель» їх утворення розробили в 60-х роках Е. Паркер і Херолд Бебкок (1882–1968). Для розуміння ж фізики процесів, що відбуваються в хромосфері і короні велике значення мали праці Д. Бірмана та М. Шварцшильда, які незалежно у 1948 р. дійшли висновку, що джерелом нагріву верхніх шарів Сонця є дисипація акустичних хвиль, що генеруються в конвективній зоні. Далі – Соломона Пікельнера (1921–1975, СРСР), який розглянув задачу про нагрівання хромосфери магнітогідродинамічними хвилями, розвив теорію плазмової турбулентності в струмовому шарі сонячних спалахів, що дозволило наблизитися до розуміння механізму прискорення частинок при спалахах. Ці роботи були продовжені С. А. Капланом, С. І. Сироватським і С. Б. Цитовичем.

В останні 40 років певних успіхів досягла *геліосейсмологія*. Вважають, що вона може бути використана «для діагностики параметрів внутрішньої будови Сонця». Передусім у 1960 р. Р. Лейтон виявив, що шар фотосфери біля температурного мінімуму коливається з періодом близько 5 хв (296 ± 3 с). Згодом група астрономів США під керівництвом Г. Хілла виявила (не досить впевнено) 40-хвилинні коливання. А в 1974 р. А. Б. Северний, В. А. Котов і Т. Т. Цап (СРСР) при вивченні рухів поверхні Сонця виявили пульсації з періодом 160,01 хв при амплітуді швидкості близько 0,5 м/с. Однозначної їх інтерпретації немає.

У 1892 р. Г. Фітцджеральд, визначаючи запізнення між проходженням великої плями через центральний меридіан Сонця і наступною магнітною бурею на Землі в припущенні, що від Сонця відлітають потоки частинок, оцінив, що їхні швидкості сягають 500 км/с . Наявність потоків плазми від Сонця підтверджували К. Хоффмейстер та Л. Бірман на тій підставі, що орієнтація хвостів комет не може бути пояснена світловим тиском. Згодом, у 1958 р., Е. Паркер розробив першу теоретичну модель сонячної корони, яка стаціонарно розширюється, і назвав потоки газу, що при цьому виникають, *сонячним вітром*. Цю теорію було застосовано і для дослідження *зоряного вітру* – формування потоків речовини, що стікає з поверхонь інших зір.

§ 3. ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР

«Упродовж усього минулого часу, згідно з літописами, що їх заповідали від покоління до покоління, ми не знаходимо слідів змін ні у всьому далекому небі в цілому, ні в жодній із його частин». Так, на противагу Геракліту, писав Аристотель у своїй праці «Про небо». І хоча згодом подекуди висловлено протилежні думки (як ось Гіппархом у II ст. до н. е.), а з часів Ньютона (див. с. 407) – навіть ряд гіпотез про шляхи розвитку, зокрема Сонця і зір, то лише у XX ст. вдалося з'ясувати, *завдяки чому і як саме* відбувається цей розвиток. Хоча й тут не обійшлося без нагромадження хибних уявлень, що заводи́ли дослідників у глухий кут.

«Вниз по головній послідовності»? Як вже згадано, у 1913 р. Генрі Рессел накреслив на діаграмі спектр-світність «дзеркальну сімку» Γ – зигзаг як напрям еволюції зорі: «в міру того як зоря стає старішою, вона стискається. І... гіганти є послідовними стадіями... і повинні бути тим молодшими, чим вони червоніші; карлики є подальшою стадією їхнього наступного охолодження, і чим червоніші ці зорі, тим далі вони просунулися у своєму розвитку».

Бо таки, як це влучно сказав У. Корлісс (1970), дуже природним було стати на ось цю точку зору: учений очікує від природи порядку, а сама діаграма спектр-світність якраз є проявом такого порядку і – «найприроднішим було б припущення, за яким головна послідовність є «рікою» зоряної еволюції, на одному кінці якої зорі народжуються, на другому – вмирають». Проте з середини 20-х років цю гіпотезу можна було розглядати, лише припускаючи, що зоря втрачає у процесі еволюції значну частину своєї маси. Йшлося ж зовсім не про втрату маси за рахунок випромінювання (коли $m = E/c^2$), бо при цьому зоря типу Сонця за 10 млрд. років втратила б усього 0,1% своєї маси ($\Delta M \approx 1,5 \cdot 10^{20}$ г/рік), а про корпускулярне випромінювання, хоча для Сонця тут ΔM у 200 разів менше вказаного.

У 1949 р. В. Г. Фесенков (1889–1972, СРСР) висловив гіпотезу, за якою кожна зоря за рахунок корпускулярного випромінювання втрачає масу пропорційно своїй світності $dM/dt = -kL = -kM^n$ при $n = 3 \dots 4$. Був ще й інший «позитивний факт» у цій схемі еволюції: внаслідок втрати зорею маси зменшувався її момент кількості руху (для кулі з масою M і радіусом R момент $I = 0,4MRv_e$, де v_e – екваторіальна швидкість), що узгоджувалося б з даними спостережень.

Відповідно до ідей В. Г. Фесенкова у 1949–1951 рр. А. Г. Масевич (народ. 1918 р., СРСР, Росія) здійснила серію обчислень еволюції зір типу Сонця. Прийнято, що початкова маса зорі $M = 5 \dots 10 M_{\odot}$, що зоря є однорідною і в ній відбувається повне переміщення речовини, що на початку еволюції частка водню $X = 1 - Z$, тоді як вміст гелію $Y = 0$, що енергія виділяється за рахунок CN -циклу.

Результати обчислень для прийнятих значень вмісту важких елементів $Z = 0,05 \dots 0,60$ майже ідеально вкладалися на головну послідовність, причому більшим Z відповідало вище положення на ній еволюційного трека. Так неоднорідністю хімічного складу різних зір пояснювався їхній розкид «поперек» головної послідовності.

Ця схема еволюції зір була підтримана в СРСР багатьма астрономами. Зокрема, П. П. Паренаго виявив, що припущення пропорційності втрати маси зорею та її світності добре узгоджується зі спостережуваним розподілом зір за світностями (з функцією світності), О. Р. Лебединський, розвиваючи цю гіпотезу, висловив думку, що «зорі виникають десь у зоні субгігантів або гігантів, тоді, втрачаючи масу, виходять на головну послідовність у зоні спектральних класів F–G, тоді, захоплюючи пил з туманностей, перескакують у стадію гарячих гігантів і, знову втрачаючи масу, рухаються вниз уздовж головної послідовності».

Проблема, однак, виявилася складнішою. І на її з'ясування ученими різних країн затрачено декілька десятків років. З появою потужних ЕОМ відповідно зросло число публікацій, як і частота зустрічей учених для обговорення конкретних проблем еволюції зір. Так, у 1970–1990-х роках їх розглядали в приблизно половині усіх публікацій з астрономії, а це близько 5000 статей щорічно. З 52 симпозіумів МАС, проведених у 70-ті роки, 24 (отже майже половина), а з 44 колоквіумів МАС-15 присвячені проблемам будови й еволюції зір. Це співвідношення тем колоквіумів та симпозіумів зберігалося і протягом 80-х років.

Дискусія про вік зір. Будь-який аналіз проблеми еволюції зір доцільно розпочинати зі згадки про дискусію щодо їхнього віку, яка тривала до 1939 р., коли було з'ясовано питання про джерела енергії зір. За Гельмгольцем, вік Сонця мав би становити близько 25 млн. років. Кельвін, уточнюючи процеси охолодження сонячних надр, збільшив його до 100 млн. років. Однак з травня 1904 р., коли Ернест

Резерфорд (1871–1937) здійснив аналіз вмісту ізотопів у шматку уранової руди, стало ясным, що нижня межа віку Сонця – 2 млрд. років. У намаганні ж визначити справжній вік Сонця у 20-ті роки і пізніше використано два висновки, отримані А. Еддінгтоном (1925 р.) щодо взаємної залежності між параметрами зорі: 1) Якщо непрозорість речовини зоряних надр описується формулою Крамерса $\kappa = \kappa_0 \rho T^{-3.5}$, то $L \approx \text{const} \cdot \mu^{7.5} \mathcal{M}^{5.5} R^{-0.5}$, де μ – молярна маса речовини зорі, L , \mathcal{M} і R – відповідно її світність, маса і радіус. 2) З порівняння світлового тиску на електрони (томсонівське розсіювання) у зовнішніх шарах зорі, сили кулонівської взаємодії протонів і електронів та гравітаційного притягання протона зорею (за умови зв'язку між масою і світністю зорі для головної послідовності $L \approx \mathcal{M}^4$) впливає верхня *еддінгтонівська межа* величини світності і маси зорі, зокрема $\mathcal{M}_E \approx 100 \mathcal{M}_\odot$.

Отож Дж. Джинс ще 1925 р., виходячи з уявлень, що 1) маса Сонця зменшувалася лише за рахунок випромінювання і 2) його початкова маса сягала $100 \mathcal{M}_\odot$, отримав вік Сонця (своєрідну верхню межу) $7,6 \cdot 10^{12}$ років. На думку Джинса, саме таким – 5...10 трильйонів років – і є вік усіх зір. Це уявлення отримало тоді назву *довгої шкали* віку зір. Всупереч Джинсу Г. Рессел та А. Еддінгтон вважали, що вік Сонця є ближчим до нижньої межі, тобто що вік зір вимірюється мільярдами років. Це була *коротка шкала* віку зір.

На підтвердження свого погляду Джинс використав ще й такі два аргументи. Перший: з відомих тоді даних про швидкості руху різних зір у Галактиці впливало нібито, що чим менша маса зорі, тим більша її швидкість руху, але середня кінетична енергія зір є однаковою. І коли застосувати до цього аналогію з молекулами газу, то час встановлення такої рівноваги виявиться рівним якраз 5...10 трильйонів років. Цей же висновок нібито впливав з розподілу орбіт близько 190 подвійних зір за їхніми ексцентриситетами. Однак у 30-х роках доведено, що в обох цих випадках зіграли роль ефекти статистичної селекції вихідних даних. Щоправда, у березні 1935 р. на черговому засіданні Лондонського королівського астрономічного товариства обговорено як рівноправні і довгу, і коротку шкали, причому «учасники дискусії поважно розійшлися.., а проблема залишилася нерозв'язаною». Проте через чотири роки, як тільки було з'ясовано природу джерел зоряної енергії, стало очевидним, що «життя зорі реалізується» саме в короткій шкалі часу.

ПРОБЛЕМА «ДОЗОРЯНОГО СТАНУ» РЕЧОВИНИ. По-своєму цікавою була дискусія про стан речовини до моменту формування з неї газової конфігурації – «звичайної зорі». З часів Ньютона і Канта логічною була гіпотеза про конденсацію зорі з фрагмента газопилової хмари під дією сили тяжіння. Її і розробляли астрономи Європи й Америки у ХХ ст., причому вихідним тут став сформульований 1929 р. Дж. Джинсом *критерій гравітаційної нестійкості* (зростання випадкових збурень густини речовини під дією сили тяжіння) та отриманий ним же вираз для критичного розміру збурення – довжини *хвилі Джинса* $\lambda_J = \sqrt{\frac{\pi a^3}{G\rho}}$, де G – гравітаційна стала, a – швидкість звука в середовищі з густиною ρ .

Протилежну точну зору висловив В. Амбарцумян у 1947 р., розглядаючи формування зір у зоряних асоціаціях. Зокрема, у 1952 р. з цього приводу він писав: «Тіла, з яких формуються в асоціаціях зорі, не є ні зорями, ні дифузними туманностями. Можна з упевненістю стверджувати, що це тіла нового, невідомого нам типу – нова форма матерії, її дозоряна стадія». У своїх подальших працях В. Амбарцумян схилився до уявлень про якісь Д-тіла, що мають густину, сумірну з густиною атомного ядра. Вони повинні б мати малі розміри, велику масу і дуже велику густину. При їх розпаді мала б звільнитися енергія, відмінна за своєю природою від термоядерної, що могло б спричинити нерегулярні зміни блиску молодих зір типу Т Тельця. Упродовж 60-х років проведено обчислення структури багаточасових конфігурацій з гіперонними ядрами, нейтронними шарами навколо них і оболонками зі «звичної» речовини. Однак у 1968 р. Г. С. Саакян і Ю. Л. Вартамян (СРСР) були змушені визнати, що «навіть чи можна обґрунтувати теоретично концепцію В. А. Амбарцумяна, залишаючись в рамках теорії тяжіння Ньютона–Ейнштейна».

Гіпотеза В. Амбарцумяна дозволяла усунути одну з важливих проблем зоряної космогонії – моменту кількості руху фрагмента речовини, який, стискаючись, цей момент зберігає (і тоді екваторіальні швидкості обертання зір стають дуже великими). Альтернативною тут була праця (1949 р.) англійського астрофізика К. Еджворта, за якою фрагмент, стискаючись, утворює кільце чи волокно, яке далі розвалюється на окремі згущення – протозорі. Тоді якраз (1950 р.) в Алма-Аті В. Г. Фесенков та Д. О. Рожковський виявили

тонкі волокна, що з'єднували між собою зорі в околицях і всередині газо-пилових туманностей. Було навіть поставлено питання, чи не розвалюються в деяких випадках саме волокна на зорі. Ця гіпотеза, однак, зазнала тоді серйозної критики з боку французьких астрономів Е. Шацмана і В. Курганова (1953 р.).

Згодом, у 1972 р. Р. Б. Ларсон (Англія) здійснив перший числовий аналіз колапсу холодної ізотермічної хмари, яка обертається, і виявив, що щільне ядро хмари за час вільного падіння перетворюється в тор з максимумом густини на його осьовій лінії. Щоправда, в розрахунках В. Чавуто (1975 р.) отримано не тор, лише швидко закручений диск. З іншого боку, дещо точніші розрахунки Д. Блека і П. Боденхеймера (1975, 1976 рр.) підтвердили утворення кільця. Йдеться, однак, про двовимірні обчислення, оскільки з урахуванням третього виміру вони все ще залишаються технічно надто складними. Якщо ж говорити про підтвердження цих обчислень спостереженнями, то показовим може бути виявлення (1975 р.) Дж. Іссерштедтом «кілець зір», факт реальності яких зразу ж було піддано критиці (визнано, що це – оптичні явища, випадкові, фізично не зв'язані групи зір).

У 1967–1970 рр. С. Б. Пікельнер, враховуючи здатність речовини поглинати й перевипромінювати енергію, з'ясував умови ущільнення міжзоряного газу аж до утворення ним холодних газо-пилових хмар за наявності магнітного поля і розвитку нестійкості Релея–Тейлора. Як виявилось, в кінцевому підсумку зі зростанням маси комплексу, що утворюється в місцях прогину магнітних силових ліній, врешті спрацьовує механізм гравітаційної нестійкості з фрагментацією комплексу на окремі згущення – *протозорі*, причому маса протозорі пропорційна квадратів температурі речовини.

Зусилля встановити зі спостережень функцію залежності від маси числа зір, що утворюються в певному об'ємі простору, як також зміни швидкості зореутворення в Галактиці з часом, тривали від початку 50-х років. У 1955 р. Е. Е. Солпітер (США), виходячи зі спостережуваних даних, знайшов для початкової функції мас $\zeta(M)$, в межах $0,5 \dots 3M_{\odot}$, що $\zeta(M) \sim M^{-2,35}$. Згодом, у 1979 р. Дж. Е. Міллер та Дж. М. Скало (США) опублікували дещо іншу залежність: $\zeta(M) \sim M^{-1,5}$, вони ж підвели певний підсумок спробам теоретичного пояснення спостережуваного спектра мас. Упродовж певного часу

залишалося відкритим питання про межі величини мас зір. Нижню, $M \approx 0,075M_{\odot}$ – *межу Кумара* – встановлено (1978 р.) як значення маси, при якому в надрах зорі ще можливі реакції ядерного синтезу. Услід за А. Еддінгтоном, М. Шварцшильд і Р. Херм (1958 р.) аналізуючи пульсаційну стійкість зоряних моделей, дійшли висновку, що стійкими є лише зорі з $M \leq 60M_{\odot}$, тому певний час існувало переконання, за яким зір з $M > 60M_{\odot}$ не існує. Однак Дж. Аппенцеллер (1970 р.) довів, що і при $M \approx 130M_{\odot}$ втрати маси, обумовлені пульсаційною нестійкістю, все ж недостатньо інтенсивні, щоб істотно скоротити перебування зорі на стадії горіння водню. З аналізу ж болометричних світностей найяскравіших зір нашої та найближчих інших галактик Р. М. Хемфріс (США), (1970, 1975 рр.) зроблено висновок про існування зір з масою $M \approx 150M_{\odot}$, яка і вважається максимальною.

З застереженням сприймали повідомлення про можливих кандидатів у протозорі. Передусім у 1947 р. Б. Бок (1906–1983) та Е. Рейлі (США) виявили на тлі світлих газових туманностей темні круглясті об'єкти розмірами 10–20 тис. а.о. – *глобули*, які на довгий час визнано зародками зір. Однак у 80-х роках доведено, що в багатьох випадках маси глобул є замалими, щоб бути протозорями. Привернули увагу відкриті Джорджем Хербігом (народ. 1920 р., США) та Гільермо Аро (1913 – 1988, Мексика) у 1951 р. *об'єкти Хербіга–Аро* – оточені туманними оболонками зореподобні об'єкти, де, як вважається, скупчені молоді зорі. Їх відомо близько 150.

З 1967 р. здійснюють перші спроби безпосереднього вивчення процесів формування зір з великими масами: тоді в туманності Оріона виявлено потужне інфрачервоне джерело – *об'єкт Бекліна–Нейгебауера* («об'єкт BN»). Йдеться про дуже компактні (кутовий діаметр менший за 1") об'єкти, що мають світності від 10^2 до $10^5 L_{\odot}$, мають планківський розподіл енергії, що відповідає температурі 300...700 К, їхні типові розміри – 0,25 пк.

Як згадувалося, є підстави вважати, що саме на ранній стадії свого розвитку перебувають *фуори*.

Вихід на ГП, перебування на ній, сходження з неї. В питанні про еволюцію зорі на її ранній стадії виділяють дві частини: 1) механізм утворення протозорі (про це йшла мова вище) і 2) напрям її руху на діаграмі спектр–світність, тобто особливості стискування фрагмента газо-пилової хмари, його взаємодії з навколишнім середовищем,

можливість акреції речовини на протозорю і т. ін. Отож спочатку при з'ясуванні змін структури протозорі використано уявлення, за яким вона утворює ряд гомологічних конфігурацій. Для них є правильними закони Лейна: густина, тиск і температура на заданій безрозмірній відстані від центра зорі змінюються пропорційно третьому, четвертому і першому степеневі відстані, а також *теорема Рессела–Фогта*: радіус і світність зорі, як і її внутрішня будова однозначно визначаються її масою та хімічним складом.

Тому і в 50-х роках ще покладали, що еволюційна крива зорі на діаграмі спектр–світність розпочинається в далекому правому нижньому куті цієї діаграми, що світність протозорі повільно і плавно зростає аж до виходу на головну послідовність. При цьому мали на увазі, що в процесі гравітаційного стискування перенос енергії в її надрах здійснюється виключно перевипромінюванням.

Однак у 1961 р. Ч. Хаяші (Японія) довів, що насправді при стискуванні протозорі перенесення енергії в її надрах здійснюється конвекцією. Відповідно змінилася форма еволюційних треків протозір на діаграмі спектр–світність. Спочатку зоря, з'явившись на діаграмі справа знизу, збільшує свою світність (в далекій ГЧ-ділянці спектра), згодом ця світність зменшується, оскільки значна частина звільненої при гравітаційному стискуванні енергії затрачається на процеси дисоціації та іонізації, потім вона знову зростає. Досягнувши параметрів $L \approx \mathcal{M}^2$, $R \approx 30\mathcal{M}/L$, (\mathcal{M} і R – в одиницях Сонця), протозоря стає повністю конвективною і при ефективній температурі, близькій до 3000 К (це – *межа Хаяші*), опускається вертикально вниз. У 1965 р. незалежно І. Ібен та П. Боденхеймер (США) уточнили цей сценарій: при зменшенні світності протозорі в її надрах на цій стадії з'являється радіативне ядро, і як тільки його маса зростає до $1/2\mathcal{M}$, зоря змінює напрям свого зміщення на майже горизонтальний.

У 1969 р. Р. Ларсон відмовився від штучного припущення про збереження однорідності фрагмента в процесі його колапсу і розробив повний гідродинамічний алгоритм для дослідження стискування газової хмари. Як виявилось, істотним тут стає розвиток неоднорідності від початку стиску. Дуже швидко у центральній частині фрагмента формується майже однорідне ядро, колапс якого зі збільшенням густини все пришвидшується. Навколо ядра з'являється зона осідання, над нею – стояча ударна хвиля, завдяки якій

речовина, що падає на ядро, гальмується і нагрівається. Усе це на сотні тисяч років занурене в газо-пилову оболонку – своєрідну пилову фотосферу, що випромінює кванти ІЧ-діапазону. Особливо це істотне для формування зір, маса яких значно перевищує сонячну.

Детальний аналіз усіх цих процесів здійснено А. Г. Масевич і О. В. Тутуковим (1988). Варті уваги, зокрема, ось ці слова авторів: «Більша частина розрахунків еволюції акреціюючих масивних зір виконана в одновимірному наближенні, тому газо-пилова оболонка випадає безпосередньо на зорю. Еволюція колапсуючої оболонки, яка обертається, майже не вивчена. Однак ясно, що в цьому випадку акреціююча речовина буде утворювати диск навколо зорі. Подальша доля цієї речовини повністю визначається перерозподілом кутового моменту. Відвід кутового моменту, а отже і дискова акреція можуть бути нестационарними... Нестационарність акреції на ранніх стадіях неминуче приведе до появи оптичних спалахів..., включаючи гігантські спалахи зір типу FU Оріона». В іншому місці книги зазначено, що оскільки йдеться про врахування, крім обертання, ще й нестационарних магнітних полів, то «точний розрахунок еволюції зорі на цій фазі поки що неможливий...»

У всіх згаданих тут варіантах сценаріїв еволюції тривалість стискування протозорі до її виходу на ГП визначається шкалою Гельмгольца – близько 25 млн. років. Що ж стосується тривалості перебування зорі на ГП, то в 1942 р. М. Шенберг та С. Чандрасекар встановили: зоря перебуває на ній доти, доки в її центрі не утвориться гелієве ядро з масою 10–12% маси Сонця. Час, за який зоря досягає цієї *межі Шенберга–Чандрасекара*, $t_{\text{ГП}} \approx 10^{10} M^{-3}$ років.

Першу теорію еволюції зір, яка була заснована на припущенні, що енергія в їх надрах виділяється внаслідок термоядерних реакцій, побудував Дж. Гамов ще в 1937–1940 рр., прийнявши, що: 1) зоря еволюціонує, поступово проходячи через низку зрівноважених гомологічних форм і 2) ядерні реакції тривають доти, доки увесь водень в зорі не вичерпається. Як виявилось, за таких умов світність та ефективна температура зорі зростають так, що зоря зсувається по ГП вгору. Після повного вигорання водню вона, стиснувшись, вступає у стадію білого карлика, або, якщо її маса перевищує межу Чандрасекара, катастрофічно руйнується, виділяючи велику кількість енергії. Однак при цьому залишалися нез'ясованими два питання.

Передусім, якщо еволюція зір відбувається уздовж ГП, то зоря заданої маси може мати будь-яку світність, і тоді незрозумілою є емпірична залежність $L \sim M^4$. Друге питання стосувалося походження і джерел енергії червоних гігантів. За Гамовим, температура і густина в їхніх надрах недостатні для реакцій CN-циклу, там нібито проходить вигорання дейтерію, літію, берилію і бору. Згодом виявилось, що ці уявлення Гамова були помилковими.

У 1952 р. Алан Сендідж і Мартін Шварцшильд (США) розглянули ряд станів, через які проходить зоря після досягнення нею межі Шенберга–Чандрасекара за умови, що обміну речовиною між ядром зорі та її оболонкою немає. Було з'ясовано, що ядро такої зорі стає ізотермічним, що близько 90% енергії виділяється у тонкому ($\Delta r \approx 0,004R$) сферичному шарі «над» ядром, ще 10% енергії звільняється завдяки гравітаційному стискуванню ядра, яке починається зразу ж після виснаження в ньому ядерних джерел енергії. Оболонка ж зорі при цьому розбухає, зоря сходить з ГП, зміщуючись право практично поперек відносно ГП. Ця робота стала першим кроком до розуміння будови й походження червоних гігантів.

Питання про напрям зміщення зір відносно ГП в процесі їх еволюції остаточно прояснилося після обчислень Ф. Хойлом та М. Шварцшильдом у 1955 р. ряду еволюційних моделей зір та зіставлення їх з діаграмою спектр–світність для кулястих скупчень (рис. 5.3). Маса зір прийнято рівними 1,1 та 1,2 M_{\odot} . Як і в розрахунку Сендіджа та Шварцшильда, у спочатку однорідній моделі зразу формуються конвективне ядро і промениста оболонка. Після вигорання в ядрі водню будова зорі ускладнюється: у ній навколо ізотермічного гелієвого ядра, що стискується, утворюється

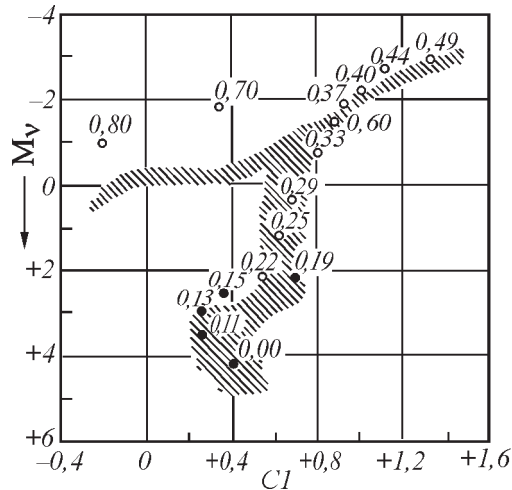


Рис. 5.3. Обчислення Ф. Хойла та М. Шварцшильда (1955 р.) зміщення зорі при вигоранні водню в її ядрі на тлі діаграми спектр–світність кулястого скупчення; числами вказано частку маси, в якій водень повністю вигорів.

тонкий енергетичний сферичний шар, в якому продовжується горіння водню. Зоря зміщується з ГП вправо вгору, досягаючи зони червоних гігантів. Як тільки температура в ядрі досягає $100 \cdot 10^6 \text{K}$, починаються реакції 3α -процесу (вигорання гелію). Ця енергія звільняється настільки швидко, що при $L \sim 10^4 L_{\odot}$ настає «гелієвий спалах». Внаслідок цього ядро різко розширюється і охолоджується. Далі зоря на діаграмі зміщується вліво, відображаючи орієнтовно горизонтальну вітку діаграми кулястого скупчення (варте уваги, що лише на стадії «гелієвого спалаху» необхідно було розрахувати 600 моделей різного стану зорі). Детальний аналіз інших досліджень, проведених у 50-ті роки, здійснено у праці Джефрі та Е. Маргарет Бербіджів (1962), результати наступних років зреферовані у збірниках «Підсумки науки і техніки», *Астрономія*, т.8 (1972) і т.17 (1981).

Еволюція зір великих мас. Отримані багатьма авторами висновки для зір типу Сонця підтвердили неминучість гелієвого спалаху, якщо лише еволюція зорі не супроводжується потужною втратою маси. Як виявилось, є дуже імовірною ситуація, коли така зоря на стадії гіганта втрачає свою оболонку раніше, ніж її ядро досягає маси, критичної для початку горіння гелію.

У серії досліджень (1967–1977 рр.) польського астронома Б. Пачинського розглянуто особливості еволюції зір з масами $2 \dots 10 M_{\odot}$ (зокрема, розміри петель, що їх описує зоря на діаграмі спектр-світність на стадії горіння гелію) для широкого діапазону початкового вмісту важких елементів. Загалом до середини 80-х років на підставі аналізу всебічних аспектів проблеми – передусім інтенсивної втрати зорею маси як в режимі потужного зоряного вітру, навіть «надвітру», так і прикінцевого відокремлення самої оболонки, з якої формується планетарна туманність – зроблено висновок: як наднова спалахує лише та зоря, початкова маса якої $M > 10 \pm 3 M_{\odot}$. При $M < 10$ зоря встигає втратити як водневу оболонку, так і значну частину своєї гелієвої оболонки. Кінцевим продуктом такої еволюції є вуглецево-кисневий білий карлик.

З початком 60-х років серйозну увагу приділено проблемі еволюції зір з $M > 10 M_{\odot}$, зокрема, при з'ясуванні умов, за яких настає спалах наднової з подальшим формуванням нейтронної зорі або чорної діри. При цьому доводилося долати великі труднощі, оскільки структура зорі на пізньому етапі еволюції ускладнюється внаслідок

появи великої кількості шарових джерел енергії та конвективних зон. Повна процедура дослідження розвинута у працях К. Кіози та К. Сума (1974 р.), як також В. І. Варшавського та О. В. Тутукова (1975 р.). Однак лише в 1978 р. Т. А. Уївер, Г. Б. Циммерман та С. Є. Вуслі обчислили еволюційні треки зір з $10 \leq M \leq 100 M_{\odot}$. Виявлено, зокрема, важливу роль, що її грає фактор перемішування речовини з утворенням зон змінного хімічного складу, обумовлених конвекцією, циркуляцією, напівконвекцією, диференціальним обертанням тощо. Кількісний опис усіх цих процесів все ще незадовільний. Виявлено необхідність в 3–5 разів більших, ніж спостерігаються, темпів втрати маси зорею за час її перебування на головній послідовності, для якого отримано апроксимаційну формулу: $t_{\text{ГП}} \approx 1,6 \cdot 10^8 M^{-1}$.

Багатьма авторами досліджено підвищення температури і густини центральної зони зорі при переході від одного ядерного джерела енергії до іншого. Як виявилось, для масивних зір, починаючи зі стадії виснаження вуглецю в ядрі, енергія, що її виносять з надр зорі нейтрино, значно перевищує енергію, яка звільняється тут за рахунок термоядерних реакцій.

Досліджено вирішальну роль нейтринних потоків з ядра зорі у пришвидшенні (в $\sim 10^3$ разів) процесів вигорання вуглецю, кисню на інших елементів, завдяки чому еволюція масивної зорі завершується *колапсом* – спалахом наднової. За деякими оцінками, число нейтронних зір у Галактиці може сягати 10^9 , якась частина зір переходить у стан чорної діри «беззвучно», без світлових ефектів.

Неодноразово проведені багатьма авторами обчислення підтвердили правильність запропонованих у 1957 р. М. і Дж. Бербіджами, У. Фаулером та Ф. Хойлом декількох ядерних процесів, завдяки яким синтез важких хімічних елементів відбувається в надрах масивних зір безпосередньо перед спалахом їх як наднових. Це передусім так званий *e-процес* утворення ядер елементів групи заліза (типу $^{28}\text{Si} + ^{28}\text{Si} \rightarrow ^{56}\text{Ni}$), *s-процес* повільного та *r-процес* швидкого захоплення нейтронів і *p-процес* захоплення протонів ядрами важких елементів вже в оболонках наднових, як також *X-процес* утворення Li, Be і B внаслідок *процесів сколювання*, тобто ударення легкої частинки високої енергії з важким ядром і вибивання з нього легких осколків. Завдяки неодноразовому уточненню імовірностей перебігу кожної зі згаданих тут реакцій отримано, як виглядає, надійні дані

щодо темпів збагачення речовини Галактики важкими хімічними елементами, а тим самим і щодо віку нашої зоряної системи.

Еволюція зір у тісних подвійних системах. Завдяки успіхам ядерної астрофізики отримано багатющий матеріал для розуміння особливостей еволюції зір, зокрема великих мас, у тісних подвійних системах (а це приблизно половина систем). Побудовано «сценарії» еволюції, почавши від системи двох тіл головної послідовності і закінчуючи, залежно від початкової маси, утворенням поодиноких і подвійних вироджених карликів, нейтронних зір або чорних дір. Перші такі обчислення проведені Д. Мортонем (1960 р.) та Б. Пачинським (1967 р.). Певні підсумки цих досліджень зроблено, зокрема, А. Г. Масевич і О. В. Тутуковим (1988) та А. В. Черепашуком (1989). Було виявлено, що початковий розподіл компонентів подвійних зір за масами описується *функцією Солнітера*. Однак дані про розподіл за параметром $q = M_2/M_1$, як також за відношенням мас компонентів до великих півосей їх орбіт поки що є непевними. З достовірністю можна стверджувати відсутність молодих тісних подвійних зір з відстанями між компонентами $a \lesssim 10R_\odot$.

За властивостями головної причини, що забезпечує розширення зорі до межі Роша, виділено три основні шкали часу обміну масою: 1) динамічне розширення зорі через незбалансованість сили тяжіння і градієнта тиску, 2) теплове розширення зорі через незбалансованість швидкості виділення енергії в надрах зорі і швидкості втрат енергії на випромінювання з її поверхні і 3) розширення зорі у ядерній шкалі часу через зміну молекулярної маси і непрозорості речовини її надр внаслідок ядерних реакцій, що компенсують втрати енергії на висвічування. Відповідно у 1967 р. Р. Кіппенхан та А. Вайгерт розділили всі тісні системи, беручи до уваги «еволюційний статус» зорі, яка першою заповнила свою порожнину Роша, на три типи. До систем типу А віднесено ті, в яких компонент заповнив порожнину Роша на стадії горіння водню в ядрі. Системи, в яких в момент заповнення порожнини Роша зоря розширюється у тепловій шкалі часу, маючи гелієве ядро, названо системами типу В. До систем типу С віднесено подвійні зорі, компоненти яких в момент заповнення порожнини Роша вже мають вироджені вуглецево-кисневі ядра.

Обчислення вказують на високу ефективність процесу «зміни ролей», коли обмін масою у тісній подвійній системі може

відбуватися декілька разів. У випадку ж, коли система складається з двох зір ОВ головної послідовності, схема еволюції за Б. Пачинським (1966 р.) має такий вигляд:

$OB_1 + OB_2 \rightarrow WR_1 + OB_2' \rightarrow$ вибух WR_1 як наднової + $OB_2' \rightarrow$
 \rightarrow релятивістський об'єкт + $OB_2' \rightarrow$ релятивістський об'єкт
 $V + WR_2 \rightarrow$ вибух WR_2 як наднової \rightarrow два релятивістських об'єкти.

Тут WR – зоря на стадії Вольфа-Райе.

Розділ 20. НАША ГАЛАКТИКА

Образно кажучи, Галактику як зоряну систему відкрив В. Гершель. Від нього починається історія її дослідження. А наскільки зусилля астрономів були нелегкими, видно хоча б зі слів В. Я. Струве («Етюди», 1847 р.): «Явище Молочного Шляху настільки загадкове з першого погляду, що ми повинні майже відмовитися від задовільного його пояснення. Однак учений ніколи не повинен відступати ні перед темрявою явища, ні перед труднощами дослідження».

Одною з причин такого песимізму стало те, що дослідник перебуває всередині цієї велетенської зоряної системи, краї якої недосяжні для нього або з огляду на замалу потужність засобів дослідження, або ж тому, що у вирішальних напрямках далекі зорі екрануються щільними комплексами газо-пилових хмар. Тому задачу дослідника С. Пейн-Гапошкіна порівняла із зусиллям людини описати будову великого невідомого міста, якщо вона несподівано опинилася на перехресті двох вулиць у його центрі...

Не випадково тому у книжці «Молочний Шлях» (1974/1978) американського астронома Барта Бока, написаній ним у співавторстві з дружиною Прісцилою Бок, є такі рядки: «Незважаючи на бажання показати всю систему Молочного Шляху, нам доведеться обмежити свій небесний маршрут. Нерідко ми побачимо на шляху такі покажчики: «Недосліджена територія», «Обережно! Густий туман!» або більш обнадійливе: «Ідуть роботи! Проходь на свій страх і ризик». Бо Молочний Шлях далеко не так добре досліджений, щоб повністю розкрити свої таємниці перед туристом».

Можна стверджувати, що справжнє відкриття Галактики «як фізичного об'єкта» сталося у 1924 р., коли Едвін Хаббл довів, що вона – лише один з багатьох подібних до неї велетенських зоряних

світів. Несподівано всебічне збагачення й поглиблення уявлень про Галактику розпочато з 60-х років ХХ ст.

§ 1. Будова Галактики. Населення і підсистеми

Астроном Томас Райт у 1750 р. висловив припущення, за яким Молочний Шлях – це утворений зорями велетенський диск. Початок дослідження Галактики пов'язують з іменем Гершеля. Проте справжнє її відкриття сталося у ХХ ст.

Моделі Каптейна – Зелігера і Шеплі. Вже згаданий нідерландський астроном Якоб Каптейн у 1900 р. вперше оцінив зміну просторової густини зір з відстанню. Це і дало змогу зразу ж, у 1901 р., Х. фон Зелігеру побудувати схематичну модель Галактики у формі сплюсненого еліпсоїда обертання. Варте уваги, що на відміну від Гершеля Каптейн враховував, що зорі мають різні світності. Відстані до зір, хоча й не зовсім точні, він знаходив, виходячи із статистичної залежності між паралаксом, видимою величиною і власним рухом зорі μ ($\pi \approx 1/15\mu$). Галактика («Всесвіт Каптейна») мала б бути подібною до двоопуклої лінзи діаметром близько 23 000 і товщиною 6000 світлових років. З метою дальшого уточнення цієї моделі Каптейн у 1906 р. розробив план фотографування зір у 206 вибраних площадках, рівномірно розподілених по всьому небу (так званий план вибраних *площадок Каптейна*), результати якого зіграли велику роль у подальшому дослідженні будови й динаміки Галактики. У моделі Каптейна Сонце мало б перебувати на відстані усього 650 світлових років від центра Галактики.

Тим часом ще Джон Гершель звернув увагу на те, що майже всі кулясті скупчення зосереджені в одній половині неба. У 1909–1917 рр. Ж. Болін, А. Р. Хінкс та Е. Герцшпрунг уточнили, що ці скупчення сконцентровані у сузір'ї Стрільця. Тоді ж американський астроном Чарльз Перрайн (1867–1951) відмітив, що ледве чи може бути випадковою наявністю у тому ж напрямі дуже яскравих хмар Молочного Шляху.

Причину цієї концентрації кулястих скупчень пояснив Х. Шеплі, дійшовши висновку, що центр системи кулястих скупчень є водночас і центром Галактики. Для побудови усєї просторової картини Шеплі використав залежність період–світність для цефеїд, виділивши, однак із цієї групи ліриди, в яких, як він це встановив, світність у всіх

скупчення є однаковою і (в абсолютних величинах) близькою до 0^m . Фактично відстані до дальших кулястих скупчень Шеплі визначав за блиском найяскравіших зір у кожному з них, оскільки, як він зауважив, така зоря є на $1,5...2^m$ яскравіша за ліриду. До ще дальших – приймаючи, що як діаметри, так і інтегральний блиск усіх кулястих скупчень однакові.

Встановивши розподіл у просторі 70 кулястих скупчень, Шеплі зробив висновок, що відстань від Сонця до центра системи Молочного Шляху становить 50 000 світлових років. Діаметр же диска Галактики мав би бути рівним 300 000, товщина – 30 000 світлових років. Так у 1918 р. Шеплі «збільшив» розміри Галактики у десять разів і «змістив» Сонце з її центра на окраїну.

«ВЕЛИКА СУПЕРЕЧКА» – ЧАСТИНА I. Одним із опонентів Шеплі, хто не сприймав таких значних розмірів Галактики і вважав, що Шеплі помилився при встановленні відстаней до кулястих скупчень, був Г. Кертис (1872–1942, США). З метою з'ясування справжнього стану речей, у Вашингтоні в Національній Академії наук 26 квітня 1920 р. було організовано диспут між прихильниками протилежних точок зору – Шеплі і Кертисом. Центральним пунктом дискусії була відстань до кулястого скупчення М 13 з сузір'я Геркулеса, яка, за визначенням Шеплі, мала б становити 36 000 світлових років, тоді як Кертис вважав її перебільшеною рівно в 10 разів (а вона була масштабною одиницею для всіх інших відстаней). Кертис сумнівався у надійності визначення відстаней за змінними зорями, взагалі, а конкретно і в існуванні залежності період–світність для цефеїд. Однак він зробив серйозну помилку, прийнявши, що жовті і червоні зорі в кулястих скупченнях є карликами, подібними за абсолютною величиною до Сонця. Кертис зігнував те, що спектри цих найяскравіших зір вказують на їхню високу світність.

Обидва супротивники допускали ще й одну і ту ж помилку: вони приймали, що не існує міжзоряного поглинання світла. Тому коли у 30-х роках доведено протилежне, вказані Шеплі масштаби Галактики було зменшено втриє (а відстань до М 13 оцінено в 25 000 світлових років). Але, річ ясна, в цілому Шеплі був значно ближчим до істини!

Каптейн же і в 1922 р., маючи підрахунки зір у згаданих площах, відстоював погляд, нібито Сонце перебуває у центрі системи відносно невеликої протяжності. Разом з ван Райном він доводив,

що змінні зорі типу RR Ліри є не гігантами, а карликами, що вони значно ближчі до Сонця, ніж це приймають. У зв'язку з цим згадують розмову, що її 1921 р. Каптейн мав у Бонні зі своїм другом, астрометристом Ф. Кюстнером, якому уявлення Каптейна здалися дещо гіпотетичними. Кюстнер зауважив: чи не доцільніше почекати з остаточними висновками, доки не з'явиться більше спостережувальних даних. Каптейн же розлютився, тупнув об землю ногою і вигукнув: «Я не можу чекати! Я хочу знати це тепер!..»

Згадуючи цей факт, Ю. М. Єфремов (1984) наводить ще інший приклад: фізик Хендрік Лоренц (1853–1928) дуже жалкував, що не помер раніше, ніж з'явилася квантова механіка, і зауважив: «Що може зрівнятися з трагедією ученого, який після десятиліть невгамовного устремління до знання створює нарешті цільну картину світобудови, але тут же зауважує появу іншої точки зору і бачить, як вона набуває все нових прихильників... А тим часом такою є доля кожного конкретного досягнення науки, кожного вченого. Минає п'ять, десять років, і його робота є цікавою – в кращому випадку – лише для істориків науки... Середня тривалість доброї наукової статті, протягом якої на неї є посилення в літературі, – близько десяти років. У наукових журналах немає тепер посилення на Ньютона або Лапласа, хіба що в історичних оглядах. І рідко вже зустрічаються імена Каптейна і навіть Шеплі. Їх праці лягли цеглинками в будівлю, яку нікому не судилося побачити завершеною...»

Для самого Шеплі переживання, аналогічне Кертісовому, трапилося у 1924 р. Адже він був переконаний, що «його» велетенська Галактика вміщує в собі всі видимі об'єкти, зокрема спіральні туманності. І коли Е. Хаббл (розд. 21, § 1) повідомив йому в листі, що виявив у туманності Андромеди цефеїду і що внаслідок його обчислень цей об'єкт є за межами Галактики, Шеплі сказав до С. Пейн-Гапошкіної, яка в цей час була в його кабінеті: «Ось лист, який зруйнував мій всесвіт...»

ОБЕРТАННЯ ГАЛАКТИКИ. У 1925 р. Г. В. Стремберг виявив дивну асиметрію в русі кулястих скупчень: усі вони рухаються в напрямі одної ділянки Молочного Шляху зі швидкостями близько 200 км/с. Через рік Бертіль Ліндبلاد (1895–1965, Швеція) звернув увагу на асиметрію руху «зір з великими швидкостями», тобто зір, швидкості яких перевищують 60 км/с (для більшості зір з околиць Сонця

ці швидкості менші 30 км/с) і в русі яких виявляється переважний напрям. З аналізу цього явища Ліндبلاد зробив висновок, що «зоряну систему можна розділити на ряд підсистем, які симетричні відносно одної і тій же осі, але які мають різні швидкості обертання на одній і тій же відстані від цієї осі і тому різною мірою сплюснених». Фактично зі спостережень випливало, що Сонце та інші зорі малих швидкостей рухаються з великими швидкостями навколо далекого центра Галактики, утворюючи дещо сплюснену систему. Зорі ж «великих швидкостей» обертаються навколо згаданого центра насправді зі значно меншими швидкостями і утворюють майже сферичну систему. Тому Сонце і близькі до нього зорі у своєму русі в Галактиці переганяють зорі сферичної системи. З цих досліджень випливало також, що центр зоряної системи з точністю до кількох градусів збігається з центром системи кулястих скупчень, а отже – з центром Галактики.

Остаточно факт обертання Галактики був доведений у 1927 р. Яном Оортом (1900–1992, Нідерланди), який дослідив розподіл променевої швидкостей і власних рухів зір залежно від галактичної довготи. Так вдалося встановити, що обертання нашої зоряної системи в околицях Сонця є проміжним між твердотільним і кеплерівським обертанням, причому воно ближче до кеплерівського. Звідси випливало, що Сонце знаходиться в середині Галактики, але на її периферії, і що густина зір зростає з наближенням до центра системи. Відстань же від Сонця до центра Галактики Оорт оцінив у 5,4 кпк (16 600 світлових років), а це було утричі менше знайденого Шеплі. Ці розбіжності вдалося усунути в 1930 р., коли Роберт Трюмплер (1886–1956, США), зіставляючи видимі розміри розсіяних скупчень з відстанями до них, остаточно довів існування міжзоряного поглинання. Тоді й було уточнено розміри Галактики: їх зменшено майже утричі. Діаметр Галактики виявився рівним не 300 000, а лише 100 000 світлових років. Для відстані Сонця від її центра прийнято 10 кпк (33 000 світлових років).

Теорію обертального руху Галактики та відповідний їй математичний апарат неперервно збагачували й удосконалювали. Сучасна зоряна астрономія базується на класичних працях К. Шварцшильда (1907 р.), А. Еддінгтона (1915 р.), Дж. Джинса (1928 р.), В. А. Амбарцумяна (1937 р.) С. Чандрасекара (1948 р.), К. П. Огородникова

(1963 р.) та Г. Г. Кузьміна (1953 р.). Істотні розбіжності між отримуваними розв'язками рівнянь зоряної динаміки і спостереженнями привели до усвідомлення того факту, що наша Галактика є складною багатокомпонентною структурою і що при її вивченні необхідно враховувати початкові умови формування зір її різних підсистем.

Що стосується конкретно обертання Галактики, то важливим є факт, виявлений у 1954 р. нідерландськими астрономами К. Кві, К. Мюллером і Г. Вестерхаутом на підставі аналізу радіоспостережень хмар нейтрального водню: близькі до центра зони Галактики мають кутові швидкості обертання, у чотири рази більші (на відстані 3 кпк), ніж у зоні Сонця.

У 1973 р. Дж. Острайкер і П. Піблс показали, що дискові зоряні системи (а такою є Галактика), в яких гравітація зрівноважена обертанням, є нестійкими та існувати не можуть. Через два роки, моделюючи динаміку двокомпонентної (диск + гало) зоряної системи, Ф. Хол довів, що така галактика може бути стійкою, якщо більше половини її маси зосереджена в гало – у підсистемі, що не обертається. «З цього часу виникла проблема масивного *внутрішнього гало*: так велика маса гало всередині об'єму з радіусом, рівним радіусу диска Галактики, не виявлялася, і про її існування навіть не підозрівали. Проблема відкрита і тепер: все ще остаточно не ясно, а чого складаються «невидима», «прихована» маса в зоні $z < 10\text{--}15$ кпк.

Майже одночасно з питанням про внутрішнє гало виникла, можливо, ще фундаментальніша проблема масивного зовнішнього гало, або корони. Досліджуючи динаміку системи супутникових галактик, які оточують нашу зоряну систему, Ейнасто та ін. (1974 р.) і Острайкер та ін. (1974 р.) дійшли висновку, що Галактику оточує протяжна корона, маса якої на порядок більша загальноприйнятого значення маси в межах видимих розмірів Галактики» (Л. С. Марочник. А. О. Сучков, 1984).

Отже, щоб «спастися» дискову галактику від «нестійкості Острайкера–Піблса», доводиться покладати, що в чітко вираженій спіральній системі маса диска – це усього близько 10% від повної маси «диск + гало». Інакше – що кінетична енергія обертання системи менша 14% її гравітаційної енергії. При дещо більшому співвідношенні маси виникає видовжене тіло – перемичка (бар), коли ж це відношення сягає 0,5, виникає картина системи без чітко окресленої форми.

Зоряні скупчення, населення і підсистеми. Про Галактику прийнято говорити як про багаторівневу, багатокомпонентну систему, яка існує і розвивається як ціле за своїми певними законами. На багато питань, що стосуються її будови і розвитку, відповідей все ще немає.

Зоряні скупчення – розсіяні і кулясті – є першими і давно відомими структурними елементами Галактики. Для розсіяних скупчень у 80-х роках XVIII ст. В. Гершель увів назву «відкриті скупчення». Ще одна їх назва – галактичні скупчення – мала б підкреслювати їхню сильну концентрацію до площини Галактики. Гершель здійснив також першу класифікацію розсіяних скупчень, виходячи з їх структурних особливостей і відмінностей у зовнішньому вигляді. Детальнішу класифікацію розсіяних скупчень запропонував у 1940 р. Р. Трюмплер. У ній для характеристики зоряного складу вжито арабські цифри 1, 2 і 3 (1 – вітка гігантів відсутня і т. д.), латинські літери o , b , a і f вказують, з якого спектрального класу розпочинається у скупченні головна послідовність. Для характеристики структури скупчень Трюмплер римськими цифрами I–IV визначив міру концентрації зір до центра (I – найсильніша), арабськими 1, 2, 3 – міру подібності зір за яскравістю (1 – усі зорі скупчення мають однакову яскравість), нарешті літерами p , m і z – орієнтовне число зір у скупченні (відповідно менше 50, до 100 і понад 100). Наприклад, за класифікацією Трюмплера Плеяди належать до типу $b111z$.

В каталозі Г. Лінґи (1981 р.) налічують 1180 розсіяних скупчень, детальніші відомості про 434 скупчення вміщені в каталозі К. Джейнса і Д. Адлера (1982 р.), повніші їхні характеристики – у монографії П. М. Холопова (1981).

Кулястих скупчень відомо близько 150, а їх оцінювана загальна кількість у Галактиці мала б сягати 500. Найповніший опис цих об'єктів зробив у 1979 р. Г. Алькайно. Абсолютна величина найбільших з них сягає -10^m , маса $\sim 10^6 M_{\odot}$, світність – $10^6 L_{\odot}$, діаметр до 100 пк.

У 20-х роках увагу астрономів привернули групи ОВ-зір, які згодом отримали назву **ОВ-асоціацій**. В 40-х роках їх дослідження розпочав В. А. Амбарцумян, який з факту існування цих окремих груп молодих зір та начебто виявленого їх розпаду зробив у 1952 р. важливий висновок, що і в наш час процес групового формування зір продовжується. У тому ж 1952 р. аналогічний висновок про

розширення асоціацій зробив Адріан Блаау (народ. 1914 р., Нідерланди). Дискусія, що тривала навколо цього питання упродовж декількох років, завершилася формуванням уявлення, за яким ОВ-асоціації є насправді стійкими групами зір, хоча сам факт їх молодого віку сумніву не піддається. Тоді ж, у 40-х роках, В. А. Амбарцумян відкрив групи змінних зір типу Т Тельця, які у 1951 р. були названі П. М. Холоповим *Т-асоціаціями*. Це – також молоді зорі.

Що ж стосується конкретно питання про *населення* Галактики, то це уявлення увів у 1944 р. Вальтер Бааде. Спочатку воно стосувалося галактики М 31, при фотографуванні якої через синій і червоний світлофільтри він виявив, ще червоні гіганти у ній тяжіють до ядра, тоді як яскраві голубі зорі зібрані в основному у спіральних вітках. Об'єкти спіральних віток і були названі *населенням I типу*, тоді як зорі, що згруповані симетрично до центра системи, – *населенням II типу*. У нашій Галактиці до населення I належать, зокрема, зорі розсіяних скупчень, до населення II – зорі кулястих скупчень.

У 1947 р. Б. В. Кукаркін, досліджуючи просторовий розподіл змінних зір різних типів, дійшов висновку, що в Галактиці можна виділити три *підсистеми* – *плоску, проміжну і сферичну*. Згодом Я. Оорт увів детальніший поділ на *сферичну* підсистему – *гало* (I), *проміжну сферичну* (II), *проміжну підсистему диск* (III), *плоску стару* (IV) і *плоску молоду* (V) підсистеми. Зокрема, гало – це сфероподібна підсистема з сильною концентрацією маси до центра, яка обертається дуже повільно. Сформувалося гало (як підсистема з субкарликів, кулястих скупчень, деяких лірид) на найбільш ранній стадії еволюції Галактики і тому певним чином зберігає сліди тих умов, які були в ній близько 15 млрд. років тому. Однією з найбільших загадок гало є проблема *корони* або *зовнішнього гало*. На існування цієї підсистеми вказує динаміка Галактики, але з чого складається згадана маса – невідомо.

Оскільки ж чітких природних критеріїв поділу Галактики на підсистеми немає, то багато авторів обмежуються виділенням *гало* і *диска*. Крім того, часто розглядають як окрему підсистему *балдж* – зону радіусом 600–700 пк, яка оточує центр Галактики і фізичні властивості якої інакші, ніж у диску чи в гало. За своїми властивостями балдж подібний до еліптичної галактики. Нарешті, окремо виділяють *ядро* Галактики ($z \lesssim 1$ пк) або *центральний парсек*.

За даними Я. Оорта, 1982 р., тут знаходиться темний об'єкт з масою $\sim 10^6 M_{\odot}$.

ПРОБЛЕМИ ХІМІЧНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ. У своєму розвитку Галактика перейшла стадії від протогалактичної хмари до сучасної багатопідсистемної структури. Тривалість цього процесу визначають декількома факторами. Це, передусім, *динамічна еволюція* – колапс первісної протогалактичної газової хмари і формування підсистем Галактики з відповідним розподілом в них маси. Далі, це *хімічна еволюція* – зміна хімічного складу Галактики з часом, яка проявляється у збільшенні вмісту важких елементів і гелію при переході від старих населень до молодих. Обидва ці процеси певним чином пов'язані між собою.

Вихідним у з'ясуванні проблем хімічної еволюції речовини в Галактиці є той факт, що ні в Галактиці, ні за її межами дотепер не знайдено жодного об'єкта з первісним (космологічним) хімічним складом. Далі, встановлено, що серед екстремально старих населень Галактики є дуже мало об'єктів, в яких вміст металів $Z < 0,01 Z_{\odot}$. Це значить, що формування відомих нам типів зір і кулястих скупчень почалося лише після того, як 0,08% маси Галактики ($\sim 4 \cdot 10^7 M_{\odot}$) перетворилося у важкі елементи. Цей результат спостережень залишається загадкою. Коли б розподіл зір за масами в процесах зореутворення не відрізнявся від знайденого для існуючих зір, то разом з тими дуже масивними зорями, які забезпечили $4 \cdot 10^7 M_{\odot}$ важких елементів, мала б утворитися дуже велика кількість зір менших мас, які спостерігалися б і тепер. Але таких об'єктів з найменшою кількістю металів або зовсім без них не виявлено. Це і є сформульована у 1976 р. Ф. Хартвіком проблема «надвишку металічних зір гало». Аналогічну проблему дефіциту малометалічних зір G-карликів виявив С. ван ден Берг у 1962 р. для населення диска Галактики.

З іншого боку, А. О. Сучков у 1977 р. зробив висновок про відсутність проміжних систем між гало і диском за розривом у розподілі ексцентриситетів галактичних орбіт зір. Далі, у 1980 р. Р. Коен зауважила, що «не існує перекриття зон металічності, що їх займають кулясті і розсіяні скупчення», тобто що є розриви у вмісті металів цих систем. А це – свідчення значного – не менше 5 млрд. років – розриву між віком гало і диска, а тим самим – циклічності зореутворення в Галактиці.

Ось деякі конкретні дані, що стосуються кулястих і розсіяних скупчень, зокрема їхнього віку, що впливають із вмісту в них важких елементів. Для двох десятків найкраще вивчених кулястих скупчень Х. Сайо у 1977 р., Б. Карні у 1980 р. визначали вік за зіставленням спостережуваних діаграм колір–світність з теоретичними ізохронами. Для найстарших малометалічних скупчень отримано вік 16...19 млрд. років. Перегляд цих результатів А. Сендіджом у 1982 р. дав змогу знизити верхню межу віку до 17 млрд. років. Тому П. Пібблс і Р. Дікке у 1968 р. ще висловили здогад про утворення кулястих скупчень на догалактичній стадії і про їхнє наступне групування в Галактики. Але той факт, що в Галактиці, як це встановив В. Бааде у 1958 р., є принаймні дві підсистеми кулястих скупчень з різними параметрами, не дає підстав для такого припущення.

Оцінки ж віку розсіяних скупчень дають для більшості з них $t_* < 0,1$ млрд. років. Скупчень віком $0,1 < t_* < 1$ млрд. років у п'ять, а з $t_* > 1$ млрд. років у 10 разів менше. Вік найстаршого розсіяного скупчення – близько 5 млрд. років. Отже, розсіяні скупчення зформувалися вже після диска, і тривалість їх життя ~ 100 млн. років. З того ж, що старі розсіяні скупчення перебувають на великих відстанях від площини диска, С. ван ден Берг у 1984 р. зробив висновок, нібито розсіяні скупчення руйнуються при взаємодії головним чином з масивними хмарами молекулярного водню. Наймолодші ж із цих скупчень є індикаторами спіральних віток.

Також виявлено, що молоді розсіяні скупчення часто мають дуже низький вміст металів, що є нетиповим для зір поля. А вміст гелію в Гіадах, як це виявили у 1982 р. Б. Стремгрен, Е. Ольсен та Б. Густафсон, значно менший, ніж у зір поля з такою ж металічністю. Створюється враження, що скупчення часто утворюються з речовини, яка наче якось «виключена» із загальної еволюції міжзоряної речовини в Галактиці. Причина такого стану речей не з'ясована.

Якщо ж йдеться про хімічну еволюцію речовини Галактики в цілому, то передусім слід відмітити, що ще в 1946 р. ідею, за якою всі наявні сьогодні у Всесвіті хімічні елементи утворилися з водню завдяки реакціям нуклеосинтезу в надрах зір і що згодом вони були викинуті у міжзоряний простір при спалахах цих зір як наднових, висловив Фред Хойл. За його уявленнями, далі ці елементи входили до складу зір наступних поколінь, після декількох циклів, нарешті, –

до складу планет. Ці реакції ядерного синтезу перелічені раніше (розд. 19, § 1).

Сучасна теорія хімічної еволюції Галактики, як вважається, розпочалася працями С. Ван ден Берга (1962 р.) і М. Шмідта (1963 р.). Аналітичний підхід до з'ясування деталей хімічної еволюції започатковано працями Р. Тальбота і В. Арнетта (1971 р.), Л. Сірла і В. Сарджента (1972 р.), Р. Ларсона (1972 р.) і особливо Б. Тінслі (1980 і 1981 рр.). Було сформульовано та досліджено основні модельні рівняння, якими описують збагачення речовини Галактики важкими елементами.

Як відмітив у 1978 р. В. Арнетт, з теоретичних обрахунків випливає, що можливих спалахів наднових з масами $\sim 30M_{\odot}$ достатньо, щоб пояснити спостережуваний розподіл хімічних елементів. Лише гелію синтезується на порядок менше наявного, що і є серйозним аргументом на користь його космологічного походження (розд. 22, § 3).

Як вже зазначено вище, з'ясування вмісту хімічних елементів у зорях, які належать до різних підсистем (найповніше вдається визначити вміст заліза), привів до висновку, що в Галактиці періоди утворення гало і диска віддалені один від одного проміжком часу близько 5 млрд. років, упродовж якого зореутворення або було незначним, або його не було зовсім. Проблема ця вимагає дальшого вивчення.

Ще один висновок отримали Дж. М. Острайкер та М. Піс (зі співавторами): є підстави стверджувати, що в процесі своєї еволюції наша Галактика втратила принаймні половину своєї маси, викинувши у формі галактичного вітру збагачений важкими елементами газ у міжгалактичний простір.

ПРОБЛЕМИ ЗОРЕУТВОРЕННЯ. Одним з найважливіших тут є питання про величини зоряних мас, про швидкість зореутворення і про початкову функцію мас. Важливу роль у їх з'ясуванні зіграла ідея (1953 р.) Ф. Хойла про каскадну (ієрархічну) фрагментацію газових хмар. Кількісно цю теорію розробляли (1962 р.) К. Кантер, також (1965 р.) Л. Местел і (1982 р.) Дж. Сілк. Тоді ж, у 1965 р. Г. Філд довів важливу роль теплової нестійкості, яка сприяє розвалу початково однорідної газової системи на холодні щільні хмари, з яких згодом формуються протозорі, і на гарячий розріджений міжзоряний газ.

Розрахунки, проведені, зокрема, у 1973 р. Р. Ларсоном з урахуванням переносу випромінювання та ефектів непрозорості у хмарі, дали величину маси зорі M в інтервалі $0,01 \dots 100M_{\odot}$, тобто саме

у спостережувальному діапазоні мас зір. Загалом же, як це довів у 1976 р. М. Ріс, величина найменшої можливої маси зорі визначається через фундаментальні константи, вона дуже слабо залежить від температури (як $T^{1/4}$) і прямо пропорційна вмісту в речовині важких елементів. З іншого боку, Р. Ларсон та С. Старфілд у 1971 р., з'ясовуючи питання про верхню межу маси зорі, дійшли висновку, що вона тим більша, чим менше в речовині важких елементів. Отже, на початковій стадії зореутворення в Галактиці могли формуватися «зорі населення III», маси яких були значно більшими від сучасних. Вони дуже швидко проеволюювали і завершили своє життя спалахами наднових. Так з'явилися перші важкі елементи, які є в речовині старого населення II.

Про знайдені зі спостережень Е. Солпітером, Дж. Міллером та Дж. Скало початкові функції мас вже була мова раніше (розд. 19, § 3). Тут відмітимо, що проблема початкової функції мас у 1980 р. детально проаналізована Б. Тінслі. Із знайденої нею функції мас можна отримати степеневі залежності, аналогічні солпітерівській $\zeta(M) \sim M^{-x}$. Зокрема, для маси зір (в одиницях сонячної) $0,4 < M \leq 1,0$: $x = 0,25$ для $1 < M \leq 2$: $x = 1,0$; для $2 < M \leq 10$: $x = 1,3$ і при $10 < M \leq 50$: $x = 2,3$. На сучасний момент для швидкості зореутворення в проекції на диск одержано орієнтовно $3M_{\odot}$ пк^{-2} (млрд. років)⁻¹.

Що ж стосується конкретно проблеми формування зір із газопилових хмар, то з'ясовано ефективність ініціюючих, *тригерних механізмів*, які стимулюють перетворення газу в зорі. Перший із них – *галактичні ударні хвилі* – розглянутий у 1969 р. М. Робертсом. Виявлено, що різкий стиск хмар спричиняє швидке зореутворення у вузькій смузі ударного фронту вздовж спіральних рукавів, чим, очевидно, і пояснюються вузькі, чітко окреслені спіралі молодих зір і зон Н II. Згодом, у 1976 р., П. Вудвард з'ясував, що при зударенні з фронтом ударної хвилі на передньому краї хмари виникають *нестійкості Кельвіна–Гельмгольца* і *Релея–Тейлора*, завдяки чому в хмарі утворюються довгі щільні «язики» газу, які є найсприятливішими місцями для формування зір.

У 1953 р. Ф. Опік висловив припущення, за яким ініціюючим механізмом зореутворення можуть бути *ударні хвилі від наднових*. Теоретичний аналіз задачі здійснили, зокрема, у 1975 р. Дж. Дайсоні П. Галліфорд. Однак переконливих доказів у його ефективності ще немає.

Б. Бок та Е. Рейлі у 1947 р. поклали, що спостережувані в зонах Н II темні глобули є фрагментами газо-пилевих хмар, сильно стиснутими при розширенні зон іонізованого водню Н II. У 1977 р. Б. Г. Елмегрін і К. Дж. Лада довели, що під дією зони Н II у протяжній щільній хмарі формується ударна хвиля, за якою рухається *іонізаційний фронт*, внаслідок чого значна частина речовини хмари ущільнюється між ними. Згодом цей шар розвалюється внаслідок гравітаційної нестійкості на окремі конденсації, які перетворюються головним чином на масивні ОВ зорі.

І, нарешті, як це довели у 1979 р. Б. Тінслі та Р. Ларсон, швидка фрагментація на зоряні маси стає можливою при *зіткненні газових хмар*, причому величини мас тут залежать від швидкості зіткнення, маси хмар, їхнього хімічного складу та інтенсивності космічних променів чи рентгенівського випромінювання, які прогрівають газ.

З іншого боку, в Галактиці діють і певні механізми гальмування і навіть зупинок процесів зореутворення. Про це, на думку Р. Ларсона (1976 р.) свідчить факт існування у ній чітко виражених підсистем, на думку Р. Д. Мак-Клюра і Б. А. Тварога (1977 р.) – розрив у віці між населеннями диска і гало, на думку В. А. Марсакова і А. О. Сучкова (1976 р.) – дискретність розподілу вмісту важких елементів серед населень Галактики.

П. Голдрейх і Д. Лінден-Белл у 1965 р. показали, що зореутворення припиняється, якщо внаслідок спалахів наднових міжзоряне середовище турбулізується, швидкості хаотичних рухів збільшуються, внаслідок чого густина зменшується. Процес зореутворення відновлюється після того, як через певний час турбулентність дисипує. З іншого боку, у 1967 р. С. Б. Пікельнер довів ту ж роль з боку космічних променів, висока густина яких перешкоджає появі щільних холодних хмар міжзоряного газу. Загальний теоретичний аналіз можливих механізмів гальмування процесів зореутворення здійснив у 1976 р. Р. Ларсон. Однак тут бажані детальніші обчислення.

У 1962 р. О. Дж. Егген, Д. Лінден-Белл та А. Сендідж зробили висновок, що на момент початку зореутворення в Галактиці її розміри по R-координаті в 10, по Z-координаті у 25 разів перевищували сучасні. Тривалість стиску Галактики до сучасних розмірів у 1974 р. С. Ісобе оцінив у 2,4 млрд. років.

§ 2. МІЖЗОРЯНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Проблемам фізики і динаміки міжзоряного середовища присвячено багато оглядів і монографій, перелік яких частково дано у списку літератури. Це передусім книги С. А. Каплана і С. Б. Пікельєра (1963, 1969), Д. Спітцера (1981). Детальний аналіз структури міжзоряного середовища проведений Е. Е. Солпітером (1979 р.), як також Б. Е. Тернером (1979 р.).

СТРУКТУРА МІЖЗОРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА. До початку 90-х років у міжзоряному просторі виявлено «величезну різноманітність умов і об'єктів, що відрізняються між собою за усіма параметрами на багато порядків. Наприклад, температура коливається від 4...5 К до десятків мільйонів градусів, концентрації – від тисячних часток частинки в кубічному сантиметрі і менше (плавно зникаючись з міжгалактичним середовищем) до 10^{10} см⁻³ і більше, неперервно переходячи у навколосоряні оболонки, протозорі та інші об'єкти, чітку межу між якими і міжзоряною речовиною провести неможливо. В наш час міжзоряне середовище вивчають у всіх діапазонах електромагнітного випромінювання;.. найбільший внесок зроблений радіоастрономією; ...радіокванти ...дозволяють досліджувати якнайдалі ділянки Галактики, так і найхолодніші і щільні молекулярні хмари... Саме в них зосереджена, очевидно, більша частина міжзоряного газу і пилу... вони є місцями, де відбувається одне з найбільших таїнств природи – народження зір.

У цих же хмарах... з початку 70-х років виявлено найпростіші органічні молекули. За 20 років радіоастрономії знайдено понад 80... молекул [а з урахуванням ізотопічних аналогів – понад 100], серед яких органічні [що містять вуглець] становлять $2/3$ і містять до 13 атомів. Можливість [їх] виникнення... була великою несподіванкою і вимагала ...пошуку реакцій спеціальних типів... Не менш дивовижним є й інший феномен, також звичайно пов'язаний з молекулярними хмарами – сильні природні космічні лазери...» (М. Г. Бочкарьов, 1992).

Конкретно, що стосується згаданих холодних щільних молекулярних хмар, то це передусім *надхмари* – скупчення атомарного і молекулярного газу розмірами близько 1 кпк і типовою масою $10^7 M_{\odot}$. В них вкраплені *гігантські молекулярні хмари* з типовими діаметрами 20–40 пк і середньою масою близько $10^5 M_{\odot}$ (їх у Галактиці налічується до 6000). В них зосереджено не менше половини усієї

маси міжзоряного газу Галактики ($\sim 2 \cdot 10^9 M_{\odot}$). На зоряному тлі Молочного Шляху виділяють вже згадувані глобули – ізольовані, дуже компактні (0,1–1 пк) щільні ($\sim 10^4 \text{ см}^{-3}$), холодні ($T \approx 10 \text{ К}$) молекулярні хмари, маси яких є в межах від часток маси Сонця до $100 M_{\odot}$. Виділяють також проміжні між ними і звичайними дифузними міжзоряними хмарами ізольовані протяжні ($> 1 \text{ пк}$) і менш густі ($\sim 10^3 \text{ см}^{-3}$) темні *хмари Хайлеса*, прикладом яких є туманність «Вугільний мішок».

У проміжках між хмарами, в зонах значних галактичних широт спостерігають *міжхмарний газ*, температура якого сягає $7\text{--}8 \cdot 10^3 \text{ К}$. В окремих ділянках виявлено гарячі *каверни*, що сформувалися при спалахах наднових, тут температура сягає 10^6 К .

Припущення, за яким у міжзоряному середовищі різні компоненти (фази), маючи однаковий тиск, можуть перебувати в динамічній рівновазі, висловив у 1956 р. Л. Спітцер (це – так звана статична модель міжзоряного середовища). У 1967 р. С. Б. Пікельнер на цій основі розвинув теорію двофазного стану міжзоряного газу, з якої і випливає можливість співіснування холодних щільних хмар і гарячого розрідженого міжхмарного газу.

Безпосереднє дослідження міжзоряного середовища розпочалося у 1904 р., коли німецький астроном Йоганнес Гартман (1865–1936) зауважив, що вузькі і різкі лінії поглинання Н і К кальцію, які спостерігаються у спектрі подвійної зорі δ Оріона, не беруть участі в періодичних зміщеннях решти ліній, обумовлених рухом компонентів відносно центра мас. Тоді Гартман написав: «Ми приходимо до уявлення, за яким у певному місці на шляху між Сонцем і δ Оріона є хмара, що спричиняє це поглинання».

МІЖЗОРЯНЕ ПОГЛИНАННЯ ДОВЕДЕНЕ! Як вже буде згадано, всупереч роботі В. Я. Струве більшість астрономів у ХІХ ст. була схильною вважати, що поза туманностями міжзоряний простір є прозорим, що в ньому поглинаючої речовини немає. І на початку ХХ ст. здавалося, нібито для саме таких уявлень є підстави. Ось два приклади. У 1909 р. Я. Каптейн виявив, що серед зір однакових спектральних класів голубіші зорі мають більші власні рухи, а отже, вони ближчі до Сонця. Звідси випливало, що дальші зорі є червонішими внаслідок міжзоряного поглинання. Тимчасом у 1914 р. американські астрономи У. Адамс і А. Кольшюттер встановили, що гіганти того ж

спектрального класу є червонішими від зір-карликів внаслідок різниці в густинах їхніх атмосфер і один і той же ступінь іонізації, що дає однаковий вигляд спектра, досягається у щільніших атмосферах карликів при вищих температурах. Таким чином, потреба використовувати міжзоряне поглинання для пояснення ефекту почервоніння відпала.

Другий приклад. Починаючи з 1915 р., Х. Шеплі в далеких і наддалеких кулястих скупченнях виявляв дуже голубі зорі і переконувався в тому, що поглинання в напрямі на ці скупчення дуже мале. Як зауважив Ю. М. Єфремов (1984), «не дивно, що відношення астрономів до міжзоряної речовини було скептичним; всі розуміли, які важливі наслідки може мати поглинання світла в просторі, але доказів його існування не було. За словами Артура Еддінгтона, астрономи у цьому відношенні нагадували гостей, які відмовляються спати в кімнаті, де з'являються привиди, і заявляють: ми не віримо в існування привидів, але ми їх боїмося!».

У тому, що міжзоряне поглинання існує, переконав усіх Р. Трюмплер і ось яким міркуванням. Він побудував діаграми спектр–величина для близько 80 розсіяних скупчень і за суміщенням головних послідовностей визначив відстані до них, а також класифікував їх за багатством зорями і мірою концентрації зір до центра. І – звернув увагу на те, що у скупчень одного класу, діаметри яких природно вважати однаковими, зі зростанням відстані лінійні розміри збільшуються. Цей факт Трюмплер визнав ілюзорним, обумовленим тим, що насправді скупчення є ближче до спостерігача, але їхні видимі величини послаблені поглинанням світла. Трюмплер також зробив висновок, що ця поглинаюча речовина концентрується у відносно тонкому шарі поблизу галактичної площини. Після всебічного аналізу визначено і масштаби ефекту: відстань, яка реально дорівнює тисячі парсеків, може бути помилково оцінена, якщо поглинання не враховано, в десятки тисяч парсеків.

Як вже згадано (розд. 18, § 1), дуже ефективним методом, що дозволяє враховувати міжзоряне поглинання і визначати болометричні величини об'єктів, є трикольорова система UVV, запропонована Г. Джонсоном у 1953 р. Вона дає емпіричні співвідношення для переходу від знайдених за спостереженнями в окремих ділянках спектра показників кольору до повного поглинання при встановленому для ряду «опорних» об'єктів коефіцієнті переходу. Але, як

виявив сам же фундатор UVV-фотометрії, для різних ділянок неба цей коефіцієнт переходу відрізняється у 2 і навіть у 3 рази. Не виключають, що помилкова інтерпретація цього ефекту стала причиною передчасної смерті Г. Джонсона. А Вальтер Бааде перед своєю смертю заявив, що «не став би займатися астрономією, якби знав, що не існує єдиного коефіцієнта для переходу від надвишка кольору до повного поглинання...»

Фізичні процеси в туманностях. З розмаїття фізичних процесів, які відбуваються в туманностях різних типів, привертають особливу увагу ті, що проявили шлях для їх подальшого всебічного вивчення.

Зеленкуватий відтінок планетарних туманностей обумовлений тим, що значну частину енергії вони випромінюють у двох так званих небулярних лініях N_1 і N_2 , довжини хвиль яких 5006 і 4959 Å. Виникла гіпотеза, за якою ці (як і деякі інші) лінії належать якомусь невідомому хімічному елементу – «небулію». І лише 1927 р. американський астроном Айра Спрейг Боуен (1898–1973), який перед тим детально вивчав ультрафіолетові спектри азоту, кисню та ін. у хімічній лабораторії, встановив, що згадані лінії випромінюються атомами двічі іонізованого кисню, інша пара ліній – 3726 і 3729 Å, яку спостерігають в ультрафіолетовому діапазоні, – атомами однократно іонізованого кисню. Йдеться про «заборонені» переходи в атомах, які можуть здійснюватися лише в умовах розрідженого стану.

Газові туманності, зокрема планетарні, світяться і в лініях водню. Теорію цього явища розробив С. Росселанд. У 1931 р. він довів, що коли зоря, яка збуджує світіння туманності, перебуває далеко від неї, переходи в атомі під дією випромінювання з енергетичного рівня 1 на рівень 3, після чого назад на 2 і 1 (за схемою $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$) відбуваються в мільярди разів частіше, ніж переходи $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ (в атмосферах Сонця і зір їхні імовірності однакові). У цьому – суть *теорему Росселанда*.

У 1950 р. А. Я. Кіппер (1907–1984, СРСР) і незалежно Л. Спітцер та Дж. Грінстейн (США) відкрили можливість двофотонного випромінювання атомів водню при переході електрона з другого (метастабільного) енергетичного рівня на перший ($2s \rightarrow 1s$). Завдяки цьому вдалося пояснити розподіл інтенсивності випромінювання у неперервному спектрі газових туманностей.

Вивчаючи розподіл енергії у спектрі Крабоподібної туманності, Р. Мінковський у 1942 р. зробив висновок, що маса речовини туманності $15M_{\odot}$. Але в 1949 р. Дж. Болтон і Г. Стенлі (Австралія) ототожили з Крабоподібною туманністю відкрите ними потужне джерело радіовипромінювання Телець А. Услід за цим Й. С. Шкловський у 1953 р. обґрунтував твердження: основна частина енергії випромінюється цим об'єктом у широкому діапазоні електромагнітних хвиль внаслідок гальмування релятивістських електронів у магнітному полі, що пронизує цю туманність. У наступному, 1954 р., це передбачення блискуче підтвердили спостереженнями. Крабоподібна туманність була першим об'єктом, в якого зареєстровано випромінювання нового в астрофізиці типу. Це дало змогу переоцінити масу туманності, вона виявилася рівною усього $0,1M_{\odot}$, тобто у 150 разів меншою, ніж це вважали раніше.

У свій час Краб задав астрономам ще одну загадку. Дата «народження» туманності відома, відомі також її сучасні розміри і швидкість розширення. Як виявилось, узгодити ці дані можна лише у випадку, якщо покласти, що речовина туманності розширюється, прискорюючи свій рух. Пояснити це явище вдалося С. Б. Пікельнеру. Він встановив, що ефект прискорення обумовлений тиском магнітного поля і релятивістських частинок, що є в туманності.

Отримано доказ того, що і в міжзоряному середовищі є як магнітні поля, так і потоки релятивістських частинок. Бо ж у 1952 р. Й. С. Шкловський зробив висновок про те, що сферична складова радіовипромінювання Галактики – це нетеплове, синхротронне випромінювання релятивістських електронів при їх гальмуванні в магнітних полях. Про те ж, що в міжзоряному середовищі є також пилинки, засвідчив факт міжзоряної поляризації світла, відкритий у 1948–1949 рр. У. Хілтнером і Дж. Холлом (США) і незалежно В. А. Домбровським (1913–1972, СРСР). Як виявилось, довжина космічної пилінки приблизно удвічі більша за її діаметр, і така пилінка посилено поглинає ті електромагнітні хвилі, електричний вектор яких збігається з напрямом її великої осі. Орієнтація ж пилинок в однаковому напрямі і забезпечується міжзоряним магнітним полем.

Великою популярністю користується дотепер опублікований у 1952 р. «Атлас дифузних газових туманностей», складений у Кримській астрофізичній обсерваторії Г. А. Шайном і В. Ф. Газе (1899–1954).

У ньому вміщено дані про більш як 2000 емісійних туманностей, відкритих авторами при фотографуванні неба за допомогою світлофільтрів, що виділяють окремі емісійні лінії бальмерівської серії водню. Значна частина цих туманностей має волокнисту структуру. І, як виявилось, вони утворюють своєрідні ланцюжки, витягнуті паралельно до галактичної площини. Це стало одним із доказів наявності в Галактиці магнітного поля, уздовж силових ліній якого і розширюється речовина туманностей.

Окремої уваги заслуговує історія відкриття *космічних мазерів* – потужних генераторів космічних радіохвиль – і з'ясування їхньої фізичної природи. Передусім у 1949 р. Й. С. Шкловський звернув увагу на можливість випромінювання радіохвиль двоатомними молекулами OH, CN та ін. і обчислив відповідні частоти радіопереходів. Наприкінці 1963 р. такі лінії поглинання були відкриті співробітниками Массачусетського технологічного інституту (США) у спектрі радіоджерела Кассіопея А, і це стало доказом того, що в міжзоряному середовищі існують туманності, багаті на молекули. Сьогоднішні дослідження інтенсивностей і положень ліній згаданих близько ста молекул дають інформацію і про фізичні умови в міжзоряному середовищі, і про еволюцію газо-пилових комплексів, і про загальну структуру і рух газового компонента Галактики.

Реєстрація ж у лютому 1965 р. вченими Каліфорнійського університету (США) емісійних ліній молекули OH супроводжувалася драматичним здивуванням щодо природи їхнього джерела (об'єктом дослідження була туманність W49 з сузір'я Орла). Невдовзі такі ж емісійні лінії на частоті 1667 МГц виявлено у спектрах близько 50% яскравих газових туманностей, зокрема у спектрі туманності Оріона, причому джерела цього випромінювання є на краях туманності. Дивним тут було те, що лінія була надто вузька, для її формування необхідна температура близько 3 К. Тим часом інтенсивність лінії відповідала температурі до 10^{13} К. Тому першовідкривачі назвали нібито невідому речовину, що випромінює ці лінії, містеріумом, «загадковим». Невдовзі, однак, А. Г. Баррет (США) разом зі своїми співробітниками висловив припущення, що джерела містеріума є космічними мазерами. Що ж стосується «накачки» мазера, то, на думку Й. С. Шкловського (1966 р.), це мали б бути процеси поглинання квантів інфрачервоного діапазону молекулою OH у зовнішніх шарах конденсації – можливої протозорі.

В каталозі об'єктів мазерного випромінювання (1979 р.) є 350 джерел. Більше половини з них – зорі, головним чином червоні гіганти і надгіганти класу М, зокрема довгоперіодичні змінні типу Міри Кита. Очевидно, в цьому випадку мазерне випромінювання виникає в оболонці, яка оточує зорю і яка, «спливаючи» з неї, утворює стаціонарний потік речовини – *зоряний вітер*.

Сама по собі проблема зоряного вітру виникла в астрономії у 1927 р., коли Карлайл Білз (1899–1979, Канада), досліджуючи спектри зір типу Вольфа–Райє і Р Лебеда, довів, що особливості цих спектрів обумовлені витіканням речовини з їхніх поверхонь. В середині 40-х років В. В. Соболев розробив теорію світіння рухомих середовищ і застосував її для з'ясування фізичних умов в оболонках згаданих зір; у 70-х роках ці ідеї знайшли своє застосування при розробці детальнішої теорії зоряного вітру. У 1956 р. Армін Дейч (1918–1969, США) виявив такого ж типу втрати маси в гігантів і надгігантів пізніх класів. А в середині 60-х років група вчених США під керівництвом Д. Мортон, досліджуючи ультрафіолетові спектри зір ранніх класів, виявила і в них витік речовини зі швидкостями до 3500 км/с . У 1968 р. С. Б. Пікельнер і П. В. Щеглов запропонували теоретичну модель взаємодії зоряного вітру з навколишніми туманностями, що підтвердилася спостереженнями. Особливо примітними виявилися «пухирі» навколо зір Вольфа–Райє, що є в туманностях (відомо їх понад 10). Розміри таких об'єктів близько 10 пк, маса гарячого газу всередині нього – $20 M_{\odot}$, зовнішня оболонка цієї велетенської кулі розширюється зі швидкістю порядку 60 км/с . Гаряча зона «піхура» є джерелом рентгенівського випромінювання.

Систематичні дослідження міжзоряних ліній поглинання були розпочаті Уолтером Сідні Адамсом у 30-х роках. У 1949 р. він опублікував каталог 300 ОВ-зір, що на довгий час став джерелом інформації про структуру і динаміку міжзоряного середовища. Зокрема, при детальнішому дослідженні виявилось, що приблизно у 80% випадків міжзоряні лінії розщеплюються на декілька (від 4 до 10) компонентів.

Звідси випливало, що насправді світло далекої зорі проходить не через одну, а декілька газових хмар, які рухаються одна відносно одної. Отто Струве разом з Б. В. Герасимовичем (1889–1937, СРСР) визначили середню густину цих хмар і дослідили їх обергання навколо центра Галактики. Під керівництвом Струве було побудовано

перший небулярний спектрограф, за допомогою якого і вдалося у 1938 р. виявити в Молочному Шляху хмари газу, які інтенсивно випромінюють в лініях серії Бальмера.

У 80-х роках проведено всебічне дослідження велетенської «каверни» в безпосередньому сусідстві з Сонцем, на відстані близько 15 пк від нього, її частково відгорожує від Сонця *волокну Н І Санціні– ван Воордена*, яке проектується орієнтовно на сузір'я Скорпіона. Вік цього утвору – близько 15 млн. років, радіус – 200 пк. В центральній частині «каверни» є залишок спалаху, близько 200 000 років тому, над нової – оболонка, що, розширюючись у «каверні», досягла розмірів близько 280 пк і спостерігається в радіодіапазоні як *Північний полярний шпур* – дугоподібне джерело нетеплового випромінювання з кутовим радіусом 55°.

ЕФЕКТИ ГАЗОДИНАМКИ. У 1939 р. Б. Стремгрен, розглядаючи проблему іонізації і збудження атомів міжзоряного водню, дійшов висновку, що навколо гарячих зір під дією їх ультрафіолетового випромінювання утворюються зони іонізованого водню – *зони Н ІІ (зони Стремгрена)*. У цих зонах відбувається «роздрібнення» квантів лайманівського континуума, що йдуть від зорі, завдяки чому зона світиться. З великих відстаней такий об'єкт (якщо його спостерігають в іншій галактиці) видно як зорю великої світності.

Зона Н ІІ – це ділянка газу, нагрітого до температури близько 10 000 К, тоді як поза нею температура не перевищує 50 К. Водночас густина газу з обох боків межі, що відділяє ці два стани середовища, приблизно однакова. Тому зона Н ІІ розширюється: в бік неіонізованого газу рухається *іонізаційна хвиля*. Огинаючи щільніші газові хмари і стискаючи їх, вона тим самим сприяє утворенню молодих зір.

Дослідження особливостей руху іонізаційних хвиль у міжзоряному просторі були проведені у 1951–1955 рр. Ф. Каном (Англія) та С. А. Капланом. Особливість задачі полягає в тому, що до звичайних трьох співвідношень, якими описують рух газу, – законів збереження маси, імпульсу та енергії – додається *умова точки Жуге*: припущення, за яким відтік газу від іонізаційного фронту відбувається з локальною швидкістю звука. Це істотно збагачує картину руху. Так, якщо густина незбуреного середовища відносно мала, то перед іонізаційним фронтом рухається ударна хвиля, яка стискає газ. У протилежному випадку перед іонізаційним фронтом рухається хвиля розрідження.

На початку 50-х років С. Б. Пікельнер та С. А. Каплан дослідили особливості структури і руху ударних хвиль у міжзоряному середовищі. Вони, а також Віталій Горбацький (народ. 1920 р., СРСР) дослідили роль процесів висвічування з-за фронту хвилі. Як було з'ясовано, це супроводжується істотним стиском речовини, що створює умови для подальшої її еволюції в бік зореутворення.

Нарешті, у 50-х же роках С. А. Каплан здійснив теоретичний аналіз взаємодії між собою рухів газу, що мають різні масштаби, обмін між ними енергією та імпульсом. Було встановлено, що цей рух є заплутаним, *турбулентним*, отримано кореляційні співвідношення – структурні функції, як також проведено їх зіставлення зі спостереженнями міжзоряної поляризації світла зір і нетеплового радіовипромінювання. Детальне з'ясування усіх проблем міжзоряної газодинаміки є в монографії С. А. Каплана та С. Р. Пікельнера (1963).

§ 3. СПІРАЛЬНА СТРУКТУРА ГАЛАКТИКИ

Як вже згадано, у 1852 р. Стівен Александер висловив припущення, за яким наша Галактика є системою спіральних віток, що виходять з центра, в якому розташоване Сонце. Проблема ця привернула увагу дослідників знову вже після того, як було з'ясовано справжню природу «спіральних туманностей».

«**ВСЕ ПІЗНАЄТЬСЯ В ПОРІВНЯННІ**». Чи не першим, хто зважився висловити певні міркування щодо механізму формування спіральних віток галактик, був Дж. Джинс (1928 р.): «Кожна невдача при спробах зрозуміти походження спіральних віток робить все більш і більш важкою справу протистояти підозрінню, що в спіральних туманностях діють зовсім невідомі нам сили, які, можливо, відображають нові і несподівані метричні властивості простору. Припущення, яке настирливо виникає, полягає в тому, що центри туманностей мають властивість «сингулярних точок». У цих точках матерія втікає у наш світ з якогось іншого і зовсім стороннього простору. Завдяки цьому мешканцеві нашого світу сингулярні точки здаються місцями, де безперервно породжується матерія».

У 1951 р. американські астрономи У. У. Морган, С. Шарплес і Д. Остерброк, досліджуючи відстані до ОВ-зір з розсіяних зоряних скупчень, виявили, що ці зорі в межах 2...3 кпк від Сонця утворюють три вузькі смуги, які можна розглядати як частини спіральних

рукавів. Цей висновок підтверджений співробітницею Кримської астрофізичної обсерваторії Вірою Газе при вивченні розподілу емісійних водневих хмар.

У тому ж, 1951 р., Х. Івен та Е. Парселл, виявивши передбачене в 1944 р. Х. ван де Хюлстом радіовипромінювання нейтрального водню на довжині хвилі 21 см, розпочали вивчення розміщення водневих хмар у Галактиці. Через рік, у 1952 р., в Лейдені Х. ван де Хюлст, К. Мюллер і Я. Оорт, а в 1957 р. в Сіднеї П. Керр, Г. Хіндман і Р. Стар-Карпентер здійснили детальне дослідження цього розподілу нейтрального водню в Галактиці. У 1958 р. Я. Оорт, П. Керр і Г. Вестерхаут здійснили теоретичне узагальнення, що в цілому підтвердило уявлення про спіральну структуру Галактики, хоча відносні похибки при визначенні параметрів були ще досить значними.

І, оглядаючись назад, доречно нагадати собі найпесимістичніші висловлювання декількох провідних у цій галузі спеціалістів. Так, Шеплі у 1920 р. заявив: «За нашим уявленнями, Галактика, рухаючись, з часом захоплює другорядні зовнішні системи, поступово розчленяючи їх і поглинаючи... Галактика розглядається не як єдина спіральна туманність, а скоріше як сукупність багатьох «напівпереварених» хмар і скупчень, що рухаються у протяжному шарі зір і галактичних туманностей». У 1930 р. він же написав: «Наша галактична система, як уявляється тепер, не є ні спіраллю, подібною до туманності Андромеди (М 31), ні окремою дисковидною зоряною системою, аналогічною до Магелланової Хмари великого масштабу; найшвидше вона є надгалактикою – сплюснутою системою типових галактик. Таким чином, за масою і заселеністю галактичну систему слід порівнювати зі скупченням яскравих галактик у сузір'ях Волосся Вероніки – Діва, а не з окремими його членами. Наша Місцева система – зоряна хмара діаметром у декілька тисяч світлових років – уявляється галактикою, аналогічною Магеллановим Хмарам або типічній позагалактичній туманності».

Однак Б. Бок у 1986 р. вже зміг написати дещо конкретніше: «...при складанні огляду наших сучасних знань про розподіл зір у просторі ми змушені визнати, що наші знання навіть про найзагальніші риси галактичної структури дуже убогі..., ексцентричне положення Сонця у галактичній системі – ось єдиний надійно встановлений факт, що стосується структури нашої Галактики... Модель Шеплі... була

цілком задовільною в минулі 20 років. Тепер настав час зробити наступний крок і розглянути детальнішу робочу модель. Деякі астрономи підкреслювали імовірну подібність структурних деталей галактичної системи і деяких великих спіральних туманностей. Сірс поклав, що наша зоряна система цілком може мати структуру, аналогічну структурі відомої спіральної туманності М 33 у Трикутнику. Наше Сонце розташовувалося б тоді в одному із спіральних вузлів на відстані від центра, рівній двом третинам радіуса туманності... Спостерігач у тропіках легко погодився б прийняти за робочу модель Молочного Шляху систему з віддаленим центром у Стрільці, в якій спіральна вітка проходить від Кіля через Сонце до Лебедя».

Таки мав рацію А. Еддінгтон, зважившись у 1914 р. запропонувати схематичне зображення Молочного Шляху як справді спіральної системи!

Усіма можливими методами. Як згадано, перші зусилля з'ясувати наявність спіральної структури в Галактиці здійснено за визначенням положень у ній ОВ-зір, а особливо хмар неіонізованого водню, оскільки в радіодіапазоні видно практично всю Галактику. Невдовзі було зроблено висновок, що для цієї ж мети можна використати й інші об'єкти – надгіганти, зони Н II, цефеїди, молоді розсіяні скупчення, пульсари, джерела інфрачервоного, синхротронного і гамма-випромінювання. Ці два останні отримали навіть назву спіральних індикаторів. Важливими виявилися також дослідження поля швидкостей зір – «динамічних» індикаторів спіральної структури.

Картину розподілу зон Н II в Галактиці вперше у 1976 р. побудували І. М. Жоржелен та І. П. Жоржелен. Спочатку зроблено висновок, що вона узгоджується з припущенням про наявність у Галактиці чотирьох спіралей. Згодом, однак, з'ясовано, що насправді ці спостереження дуже непогано вкладаються саме на дворукавну спіраль.

Упродовж тривалого часу існувала розбіжність між розподілом нейтрального водню (Н I) за даними радіоспостережень і картиною, отриманою за ОВ-зорями, оскільки ці перші не виявляли вітки Оріона і мали менший кут закрутки ($6...8^\circ$ проти $20...25^\circ$) для оптичних віток. Згодом встановлено, що вітка Оріона не виявляється і при спостереженнях гігантських зон Н II та іншими методами. І лише наприкінці 70-х років зроблено висновок, що вітка Оріона є лише локальним ущільненням молодих зір між двома спіральними вітками.

У 1981 р. А. дель Ромеро і Х. Гомес-Гонсалес навели переконливі докази того, що пульсари концентруються до спіральних рукавів. Виявлено чітку кореляцію між просторовим положенням пульсарів і зон Н II, щодо концентрації яких у спіральних рукавах сумнівів немає. Щоправда, як зауважив у 1981 р. А. О. Сучков, у цілком виразні спіралі вкладаються далекі пульсари (при $z > 3$ кпк), які є найяскравішими і в середньому наймолодшими об'єктами, а отже, які не встигли істотно віддалитися від місця свого народження, тоді як при $z < 3$ кпк їхній розподіл є цілком хаотичним.

Свого часу, від праць Б. Міллса 1959 р., було докладено багато зусиль щодо використання довготного профілю радіовипромінювання диска Галактики для отримання кількісної і якісної інформації про спіральну структуру і двовимірний розподіл в ньому речовини. Цей досвід у 70-х роках було використано для «розгортання», *деконволюції* одновимірного розподілу за даними в інфрачервоному діапазоні, синхротронних і гамма-спостережень у двовимірну, в площині диска, картину.

Як з'ясувалося, у довготному профілі інфрачервоного випромінювання є піки, або сходинки, в окремих галактичних довготах (тобто є чітка кореляція з оптичним та з профілями інших діапазонів). Звідси зроблено висновок, що це випромінювання виявляє спіральну структуру Галактики, причому геометрія спіралей добре узгоджується з геометрією газових спіральних віток. Певні розбіжності щодо інтерпретації близького ІЧ-випромінювання, як стверджує С. Хаякава (1981 р., у співавторстві), обумовлене наявністю крім зір М-надгігантів, інших, поки що невідомих об'єктів чи процесів.

Чітку картину спіральної структури при відстанях від центра Галактики $z > 3,6$ кпк після «розгортки» довготного профілю синхротронного випромінювання, виявив, зокрема, С. Філіпс (1981 р., у співавторстві).

Аналогічно, таку ж картину отримано і на підставі зареєстрованого у 70-ті роки за допомогою супутників «SAS-2» і «COS-B» високоенергійного гамма-випромінювання Галактики. Нарешті, така структура впливає і з аналізу поля швидкостей молодих зір з околиць Сонця. Однак, як виглядає, у спіральну хвилю групується відносно невелика частина усєї маси диска Галактики.

ТЕОРЕТИЧНІ МОДЕЛІ. Одну з перших спроб з'ясувати, чому і як формуються спіралі галактик, здійснили у 1948 р. В. Гейзенберг і К. Ф. Вейцекер, а згодом у 1953 р. С. Чандрасекар та Е. Фермі. За складеними у той час уявленнями, спіральна структура Галактики утворюється і підтримується великомасштабними магнітними полями, що формують спіралі, в яких «зависають», зокрема, комплекси газових хмар. Невдовзі, однак, було з'ясовано, що напруженість поздовжнього магнітного поля (2...3 мікрогауси) надто мала, щоб проявити цю орієнтуючу дію. Більш прийнятним здавався погляд, що головну роль у формуванні спіральної структури відіграють сили тяжіння, тоді як роль магнітного поля – допоміжна.

Аналізуючи тодішні зусилля, Б. В. Воронцов-Вельямінов у 1964 р. дійшов висновку, що вся спостережувана багатоманітність структурних особливостей галактик не може бути пояснена на основі гравітаційних, електромагнітних чи інших відомих взаємодій.

У 1961 р. (а фактично ще у 1941 і 1942 рр.) Бертіль Ліндبلاد, відстоюючи визначальну роль гравітаційних сил у формуванні спіральної структури галактик, висловив ідею утворення спіралей внаслідок формування в галактиці *хвиль густини*. Ці його уявлення, однак, довгий час не визнавали. Одною з причин, очевидно, було те, що Ліндبلاد відстоював погляд, за яким спіралі розкручуються, тоді як загальноприйнятою була протилежна думка. Не менш важливим було і те, що його теорія побудована у термінах орбіт, у ній було багато припущень і наближень, її важко прослідкувати в деталях.

Важливим кроком уперед була праця (1962 р.) Д. Лінден-Белла, який виявив, що в безударних самогравітуючих системах, які обертаються, у площині, перпендикулярній до осі обертання, можуть поширюватися плоскі хвилі зоряної густини. У 1964 р. К. Лін та Ф. Шу (США) запропонували ідею *спіральних хвиль*, які поширюються завдяки пружності, обумовленої дією коріолісових сил. Тим самим вдавалося усунути труднощі, які були в інших теоріях спіральної структури, де будь-які неосесиметричні неоднорідності речовини швидко закручуються диференціальним обертанням і дисипують за декілька обертів. Через два роки, у 1966 р., Лін розробив повну математичну теорію явища, за якою спіральні хвилі густини розглядають як малі збурення основного осесиметричного стану галактики. Доведено, що коли спіральні вітки не є конгломератами

матерії, а хвилями, то за певних умов такі хвилі обертаються як тверде тіло незважаючи на загальне обертання системи.

З теорії Ліна випливало, що за найбільшої сплюснутості речовини галактики в ній неминуче формується спіральна структура. При цьому єдино стійкими і квазістатичними конфігураціями будуть ті, в яких утворюються два спіральні рукави, що розходяться з протилежних боків ядра. Теорія також дуже точно передбачає відстань між рукавами (близько 3 кпк) і величину кутів закручування спіралі (для Галактики – близько 6°), що загалом узгоджується з результатами радіоспостережень.

Вихідним у теорії Ліна є положення про те, що спіральний узір виникає під дією спірального компонента гравітаційного потенціала. Саме цей його компонент утворює хвилі густини, які, у свою чергу, змушують речовину скупчуватися уздовж лінії найменшого потенціалу, у своєрідних «потенціальних ямах». Однак питання про походження згаданих спіральних потенціальних силових полів у Ліна залишалося нез'ясованим.

Тому паралельно розглядали й інші варіанти, за якими спіральні вітки – лише короткотривалі зони інтенсивного зореутворення. Цю ідею вперше детально проаналізували у 1965 р. П. Голдрейх і Д. Лінден-Белл і в 1979 р. Х. Герола і Р. Сейден. У 1975 р. (і згодом ще раз у 1979 р.) Т. Шмідт-Калер проаналізував гіпотезу, за якою спіральні рукави формуються внаслідок викиду речовини з центральних зон Галактики. Такі думки висловлювали також В. А. Амбарцумян і Х. К. Арп. За уявленнями ж Я. Яністе та Е. Саара (1976 р.), спіральна структура утворюється внаслідок інтенсивного зореутворення на лінії перетину диска Галактики з площиною гіпергалактики і подальшого закручування лінійної конфігурації системи молодих зір у спіраль диференціальним обертанням.

Найсудовішим критиком теорії Ліна був Дж. Піддінгтон (Австралія), який у 1973 р. запропонував свою гідромагнітну теорію. Піддінгтон вважав, що сили, які обумовлюють формування спостережуваного спірального узора, виникають при взаємодії нашої галактики (як і інших) з початковим міжгалактичним магнітним полем. З цієї теорії випливає, що навіть дуже слабке міжгалактичне поле упорядковує міжзоряний газ настільки, щоб створити за час одного оберту

Галактики картину концентрованих зон формування зір, яка нагадувала б спіральні рукави.

Всебічний аналіз, однак, показав, що лише в рамках хвильової теорії, незважаючи на всі труднощі, які все ще стоять перед нею, вдається пояснити, чому спіральний узір не лише існує, а й зберігається упродовж багатьох обертів Галактики. Що більше, саме цією теорією були передбачені, а згодом і були виявлені: спіральна структура поля швидкостей зір, спіральна структура в розподілі старого населення диска і градієнт віку об'єктів поперек спіральних рукавів.

Наступні кроки у розвитку теорії хвиль густини були зроблені рядом інших авторів, зокрема Л. С. Марочником і А. О. Сучковим (СРСР), які, зокрема, у своїй монографії «Галактика» (1984 р.) вичерпно розкрили проблеми динаміки, еволюції і віку всіх зоряних підсистем, спіральної структури в цілому.

Наприкінці 60-х років завдяки працям М. Фуджімото (1968 р.), В. В. Робертса (1969 р.) і С. Б. Пікельнера (1970 р.) доведено, що за наявності в галактичному диску хвилі густини тут неминуче формується потужна галактична ударна хвиля, оскільки перетікання міжзоряного газу через хвилю густини супроводжується його сильним стискуванням. Внаслідок цього формуються спостережувані темні пилові смуги на її фронті. Безпосередньо ж за фронтом ударної хвилі відбуваються інтенсивні процеси зореутворення. Звідси виходить потужне синхротронне випромінювання.

Серйозною проблемою все ще залишається те, як в реальних галактиках відбувається збудження хвиль густини і якою є природа механізму «накачування» енергії цих хвиль, оскільки без його дії спіралі мали б зникнути після декількох обертів системи. Найімовірнішим є те, що дворукавну спіральну структуру може породжувати певне спотворення форми у центрі системи. Зокрема, як підкреслював С. Б. Пікельнер, це може бути перемичка, яка є симетричною відносно центра диска і яка обертається як тверде тіло. Стосовно нашої Галактики питання про спотворення форми в її центральній частині розглянув ще у 1964 р. Ж. де Вокулер. Теоретичний аналіз можливої ролі такої бароподібної структури в центральній зоні Галактики дав у 1979 р. Д. Лінден-Белл. Ще одним механізмом збудження і підтримування спіральних хвиль густини може бути припливний механізм (який, зрештою, не виключає роль центрального бара,

але здатний відіграти самостійну роль). Як довели А. і Дж. Тоомре у 1970 р., спіральні хвилі густини можуть збуджуватися завдяки дії галактики-супутника або ж при близькому проходженні іншої галактики.

Сонячна система в Галактиці. Поступово звільняючись від уявлення про центральне положення Землі у Всесвіті – від антропоцентризму (Коперник у 1543 р., Шеплі у 1918 р.), астрономи не бажали також приймати тезу, нібито Сонячна система займає якесь «привілейоване» положення в Галактиці. Однак дані спостережень і сама теорія спіральної структури свідчать зворотне: Сонце зі своєю системою планет перебуває на такій відстані від центра Галактики z_k (z_k – «радіус коротації»), при якій кутові швидкості зір навколо нього і спірального узору є однаковими. При $z < z_k$ зорі і газ рухаються швидше, ніж хвиля густини, саме там виникає ударна хвиля, на фронті якої істотно зростає густина, а тому зростає і швидкість зореутворення. При $z \approx z_k$ це зореутворення зі спіральними рукавами практично не зв'язане. Існує припущення, що це унікальне місце в Галактиці, де умови зореутворення є особливими (не виникає галактична ударна хвиля), може мати значення для формування навколо зір планетних систем і, не виключене, для появи на них життя.

Якщо йдеться про формування саме нашої планетної системи, то найбільше визнання отримала модифікація теорії Чемберліна–Мультона (с. 413), здійснена у 1944 р. О. Ю. Шмідтом (1891–1956, СРСР). Подальше її математичне обґрунтування належить, зокрема, В. С. Сафронову і Є. Л. Рускол (СРСР). Водночас, і це було предметом особливої уваги у 70-х роках, щоб пояснити аномальний вміст у Сонячній системі ряду ізотопів, зокрема плутонію, йоду та алюмінію, ранню історію Сонячної системи необхідно розглядати в поєднанні з процесами галактичного масштабу – з положенням досонячної хмари в Галактиці. Так, у 1972 р. Г. Рівс поєднав питання про згадані аномалії хімічного складу досонячної хмари з її проходженням через спіральний рукав Галактики. Загалом йдеться про те, що, по-перше, досонячна хмара в процесі свого перетворення у протосонячний стан перебуває під дією зовнішнього тиску, який є, очевидно, необхідним тригером для зореутворення взагалі і сонцеутворення зокрема. І, по-друге, як виглядає, близьке $4,7 \cdot 10^9$ років тому у протосонячну туманність були інжектвані «свіжі» продукти нуклеосинтезу, зокрема йод-129 і плутоній-244.

Фактично мова йде навіть про два чи більше спалахів наднових у близьких до протосонячної хмари околицях. При цьому приймається, що в продуктах нуклеосинтезу, викинутих внаслідок спалаху у навколишнє середовище, були б різні співвідношення вмісту ізотопів (у першому випадку багато йоду і плутонію, в другому – алюмінію-26). Перебування протосонячної хмари саме на відстані $z \approx z_k$ обумовлює лише одноразову дію хвилі стиску, одноразове «забруднення» нуклідами – продуктами спалахів наднових і подальшу «спокійну» еволюцію з формуванням планет у просторі між спіральними вітками.

Розділ 21. АСТРОНОМІЯ ГАЛАКТИК

У 20-х роках нашого століття надійшла пора здивуватися тому, наскільки проникливим був Кант, коли він майже 200 років раніше висловився так: «В безконечній далечині існує ще багато таких зоряних систем, і частини її перебувають у взаємному зв'язку... Ми бачимо перших членів неперервного ряду світів і систем, і перша частина безконечної прогресії вже дає нам уявлення, яким є ціле. Тут немає кінця, тут безодня справжньої незмірності... Світовий простір наповнений світами без числа і без кінця...»

Певним підсумком досліджень у цьому напрямі за майже три чверті століття була монографія (1972 р.) Б. О. Воронцова-Вельямінова. У ній детально описано, як, долаючи труднощі, астрономи виявляли на тлі зір окремі слабкі галактики, як визначали їхні координати, кутові розміри, форму, особливості їхнього обертання, променеві швидкості. Найважливішою проблемою тут було встановлення відстаней, а відтак мас і світностей, дослідження зоряного населення і дифузної матерії у кожній з галактик, а з середини ХХ ст. – пекулярних галактик і квазарів, дослідження загальної структури доступного для спостережень Всесвіту і, що дотепер залишається найважчим та до кінця не з'ясованим, формування цих структур – галактик і їхніх скупчень на певному етапі розширення Всесвіту. Як виглядає, щодо цього останнього, то й сьогодні залишаються актуальними сказані в 1919 р. слова Дж. Джинса: «При сучасному стані наших знань будь-яка спроба диктувати остаточні висновки з основних проблем космогонії була б нічим іншим, як чистим догматизмом...»

§ 1. ПОНОВНЕ ВІДКРИТТЯ ГАЛАКТИК. ЧЕРВОНЕ ЗМІЩЕННЯ

Як вже згадувалося, спостерігаючи численні туманності, В. Гершель спочатку оптимістично називав їх «молочними шляхами». Однак у процесі їх дальшого вивчення його думка змінилася, оскільки він переконався, що ціла низка цих об'єктів виявилася справжніми туманностями, які є в нашій Галактиці. Тому наприкінці свого життя він зробив песимістичний висновок: «Все, що за межами нашої власної системи, вкрите мороком невідомості». Такою ж неозначеною була ситуація і на початку ХХ ст.

Тому доречно звернути увагу на слова А. Еддінгтона, сказаним ним у 1914 р.: «Хоча термін «туманність» вживають для позначення усіх трьох класів – неправильних, планетарних і спіральних, було б помилкою думати, нібито між цими об'єктами існує тісний зв'язок... Сам факт, що спіральні туманності уникають Молочного Шляху, вже вказує, що... вони... заслонені велетенськими смугами поглинаючої речовини, такої, яка утворює темні ділянки Молочного Шляху... Якщо припустити, що спіральні туманності знаходяться всередині нашої зоряної системи, то ми нічого не можемо сказати про їхню природу. Ця гіпотеза заводить у глухий кут... Якщо ж допустити, що ці туманності є зовнішніми відносно нашої зоряної системи і що вони насправді є системами, рівними нашій власній, то це принаймні відкриває шлях для нових гіпотез, які можуть пролляти нове світло на проблеми, що стоять перед нами».

Це справді було великим передбаченням можливостей, що розкрилися перед астрономами вже через десять років...

«ВЕЛИКА СУПЕРЕЧКА». Спроби встановити відстані до окремих туманностей продовжувалися. У 1913 р. Е. Герцшпрунг, використовуючи встановлену Г. Лівітт залежність період – світність для цефеїд, оцінив відстань до Малої Магелланової Хмари у 33 000 світлових років. Для того часу це було дуже вражаючою величиною, яка істотно перевищувала прийняті тоді розміри Галактики. Тож чи випадково при друкуванні статті Герцшпрунга один нуль у цьому числі було загублено, чи редактор «на всяк випадок» усунув його, залишилося невідомим. Але яким є одне: астрономи з цього часу вже виходили на простори позагалактичного світу!

У 1917 р. Гебер Кертис відкрив нову зорю в галактиці NGC 4227 і дві в NGC 4321, в наступному – декілька нових в Туманності

Андромеди. Тоді ж Джордж Річі виявив дві нові в М 31 і нову в галактиці NGC 6946. Покладаючи, що в максимумі вони мають такий же блиск, як і нові у нашій Галактиці, Кертіс оцінив відстань до Туманності Андромеди в 500 000 світлових років. Звідси випливало, що ця і інші спіральні туманності є далеко за межами нашої Галактики.

З цим висновком не погодився Х. Шеплі. Приймемо, писав він, що Туманність Андромеди має такі ж лінійні розміри, як і наша Галактика (300 000 світлових років за його оцінкою). Тоді, знаючи її кутові розміри, знаходимо, що відстань до неї – 10 млн. св.р. Але тоді незрозуміло, чому нові зорі в Туманності Андромеди є яскравішими, ніж у нашій Галактиці. А якщо яскравість нових в обох випадках однакова, то розміри Туманності Андромеди мали б бути у 20 разів меншими, ніж Галактики.

Тоді також дивувало, чому спіральні туманності практично не спостерігаються поблизу Молочного Шляху. Бо ж якщо вони є позагалактичними об'єктами, то їхній розподіл у просторі не повинен залежати від будови нашої зоряної системи.

26 квітня 1920 р. в Національній академії наук США відбулася вже згадана дискусія між Шеплі і Кертісом. Кертіс відстоював точку зору, за якою «спіральні туманності – не внутрігалактичні об'єкти, а острівні всесвіти, подібні до нашої власної Галактики». Шеплі стверджував протилежне: «...факти суперечать тому, що спіральні туманності є галактиками зір, порівнянними з нашою власною. Поки що немає жодної причини відмовлятися від гіпотези, що спіральні туманності взагалі не складаються з зір, а є справді туманними об'єктами».

За словами Отто Струве, хоча уявлення Кертіса про природу спіральних туманностей були безумовно близькими до істини, довести це тоді було неможливо. «Жоден з них не переконав іншого, решта ж астрономів тим більше не могла зробити остаточний вибір між двома точками зору». Природу спіральних туманностей остаточно встановив Е. Хаббл, який наприкінці 1923 р. виявив у Туманності Андромеди першу, а невдовзі ще декілька (загалом 40) цефеїд. Оцінивши їхні видимі величини і періоди, Хаббл встановив, що відстань до цієї «туманності» становить 980 000 св.р. Так стало ясным, що ці об'єкти є насправді велетенськими зоряними системами. Щоправда, і після відкриття Хаббла деяких астрономів мучили сумніви.

Зокрема, у 1926 р. шведський астроном Кнут Лундмарк, який, до речі, у 1919 р. на підставі вивчення нових в Андромеді отримав приблизно таке ж значення для її відстані, писав: «З часів Вільяма Гершеля маятник астрономічних поглядів відносно космогонічної ролі туманностей коливався багато разів. Причому дані на користь тої чи іншої теорії часто були дуже переконливими. Тепер є імовірним, що теорія острівних всесвітів отримала остаточне підтвердження... Чи ж маятник знову хитнеться?»

Маятник вже не хитнувся, але самі ці відстані ще довелося згодом переглянути й уточнити...

До речі, повідомлення про відкриття Хабблом цефеїд у декількох позагалактичних туманностях і про визначення відстаней до них вперше було опубліковано 23 листопада 1924 р. в газеті «Нью-Йорк Таймс». У тексті було вказано, що загалом у Туманності Андромеди та М 33 виявлено 36 цефеїд і що, отже, «...йдеться про зоряні системи, які... приблизно у десять разів далше, ніж Мала Магелланова Хмара, тобто є на відстані близько 1 000 000 світлових років».

Г. Рессел назвав відкриття Хаббла «безперечно, одним із найвизначніших наукових досягнень за рік». Доповідь Хаббла на цю тему, зачитана Ресселом 1 січня 1925 р., стала головною подією в роботі чергового з'їзду Американського астрономічного товариства (у квітні 1925 р. цю доповідь опубліковано). Секретар Товариства Джоуел Стеббінс відгукнувся про неї так: «Доповідь розкрила глибини простору, раніше недосяжні для досліджень, і породила надію на ще більші успіхи в найближчому майбутньому. Вже тепер вона у сто разів розширила об'єм матеріального світу і з впевненістю вирішила довгу суперечку про природу спіралей, доказавши, що це гігантські скупчення зір, майже порівнянні з нашою власною Галактикою».

У листі до Г. Рессела Хаббл згадав причину, з огляду на яку він зволікав з публікацією своїх результатів. В обсерваторії Маунт-Вілсон з 1912 р. працював нідерландський астроном Адріан ван Маанен (1884–1946), який нібито, вимірюючи положення окремих вузлів на зображеннях туманності М 101, отриманих з інтервалом у декілька років, з 1916 р. виявляв їхні власні рухи порядку 0,02" за рік. У 1923 р. він же опублікував аналогічні результати для туманності М 33. Виходило так, нібито цей другий об'єкт здійснює оберт за 60 000 – 240 000 років (залежно від відстані до центра), а це

мало б бути типовим для обертання протопланетної хмари. Звідси випливало, що усі ці об'єкти, а отже і М 31, мали б бути всередині Галактики. Ван Маанен відмовився переглядати результати своєї роботи (лише 1935 р. він визнав, що це було інструментальним ефектом), а Хаббл вирішив не осоромлювати його прилюдно, тим більше що ван Маанена підтримувала адміністрація обсерваторії.

Труднощі об'єкту і морфології. Відкривши цілком новий світ далеких галактик, астрономи зразу ж розпочали працю над статистичним аналізом вже наявних матеріалів і пошуком нової інформації. До вже згаданого каталога NGC долучаються інші, в яких подають точніші дані щодо їх положення, блиску та форми. Що більше, вже з 20-х років визнано, що з огляду на значну віддаленість галактик найчіткіші їх ядра доцільно використовувати як нерухомі реperi для визначення відносно них координат і рухів зір.

Одним з перших (1926 р.) був каталог К. Рейнмута, в якому подано координати і розміри 4200 яскравих галактик, далі (1932 р.) – каталог галактик, яскравіших від 13^m Х. Шеплі та А. Еймс, «Морфологічний каталог галактик» Б. О. Воронцова-Вельямінова, А. А. Красногорської та В. П. Архипової (1-й том 1962, 2-й – 1964, 3-й – 1963, 4-й – 1968 рр.). У цьому останньому, складеному на підставі Паломарського атласу неба, є стислі вичерпні дані про 30 000 галактик, яскравіших за 15^m , зі схиленням від $+90^\circ$ до -33° . У 1961–1968 рр. опублікований каталог Ф. Цвіккі, в якому вміщено дані про 30 000 галактик північного неба. Привертають увагу і два каталоги Ж. і А. Вокулерів – «Довідковий каталог яскравих галактик» (1964 р., усього 2439 об'єктів) та «Уточнена класифікація 1500 яскравих галактик» (1963 р.) і каталог модулів відстаней до 750 галактик (1960 р.) С. ван ден Берга.

Складено ряд атласів галактик. Це, зокрема, упорядкований А. Сендіджем «Хабблівський атлас галактик» (1961 р., 176 об'єктів), «Атлас і каталог 356 взаємодіючих галактик» (1959 р.) Б. О. Воронцова-Вельямінова, «Атлас пекулярних галактик» (1966 р.) Х. Арпа, «Капський атлас південних галактик» (1957 р.) Д. Еванса.

Більшість астрономів з різних обсерваторій проводила статистичний аналіз, що стосується світу галактик, за опублікованими фотографіями. Так з'ясовували вигляд, форму і структуру об'єкта. Було, однак, виявлено, що сам вигляд галактики на фотографії залежить

не лише від проникної здатності телескопа, а й від того, як віддрукковано її зображення на папері, від того, в яких променях її зфотографовано.

У 1965 р. Ф. Цвіккі розробив метод композиційних фотографій: спочатку отримують зображення у двох діапазонах довжин хвиль, після чого діапозитив першого накладається на негатив другого (або навпаки).

У 1966 р. Х. Ейблсу і Дж. Крісті вдалося отримати перші кольорові фотографії ряду галактик.

«КАМЕРТОННА ДІАГРАМА ХАББЛА». Першу і досить вдалу спробу класифікувати галактики за їхнім зовнішнім виглядом зробив у 1925 р. Е. Хаббл запропонувавши відносити їх до одного з трьох типів (рис. 5. 4): еліптичні E , спіральні S та неправильні I_z .

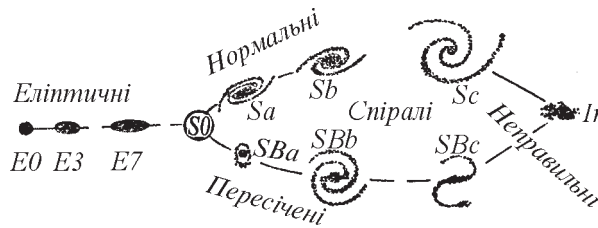


Рис. 5. 4. Камертонна діаграма Хаббла.

Галактики були об'єктом докторської дисертації Хаббла (1917 р.). До того часу він за допомогою 24-дюймового рефлектора зфотографував 7 ділянок неба віддалік Молочного Шляху і виявив там 512 нових туманностей на додаток до вже відомих раніше 76. В одному випадку на площі, яку займає диск Місяця, він виявив 75 об'єктів. Тому у своїй дисертації Хаббл написав: «Якщо покласти, що вони є за межами зір, то, очевидно, ми бачимо скупчення галактик. Якщо ж вважати, що вони всередині нашої системи, тоді їхня природа стає таємничою». І він, як вже сказано вище, доклав зусиль до того, щоб довести їхню позагалактичну природу.

Перший варіант своєї класифікації туманностей Хаббл розробив вже у 1921 р. та опублікував її в «*Astrophysical Journal*». Її було представлено в Комісію по туманностях МАС. Однак ця класифікація не зустріла підтримки з боку президента Комісії французя Біжурдена, який відстоював свій власний варіант. У 1922 р. керівником Комісії став Весто Слайфер і Хаббл у 1923 р. написав йому:

«Я посилаю Вам деякі замітки про систему класифікації туманностей, заснованої на фотографічних зображеннях. Замість того, щоб перетворити їх у статтю для публікації, мені здавалося б краще запропонувати її Комісії по туманностях як основу для обговорення, наслідком якого могла б стати класифікація, схвалена Комісією та затверджена Міжнародним астрономічним союзом».

Опис класифікації було розіслано членам Комісії. Однак на 2-му з'їзді МАС влітку 1925 р. (Кембридж, Англія) Комісія досить прохолодно сприйняла нові пропозиції Хаббла і його класифікацію не затвердила. Проте один з членів Комісії Дороті Клампке-Робертс, визнавши класифікацію Хаббла прекрасною, весною 1926 р. описала її у французькому науково-популярному журналі. Наприкінці того ж року Хаббл публікує її у двох американських наукових журналах.

Майже зразу, однак, склалася неприємна ситуація, оскільки весною 1926 р. Кнут Лундмарк запропонував свою класифікацію галактик, яка багато де в чому була подібна до хабблівської, про яку він міг дізнатися, перебуваючи на Маунт-Вілсон. Щоправда, Лундмарк пропонував робити класифікацію за концентрацією світла до центра об'єкта. Тоді ж, у 1927 р., Дж. Рейнольдс виступив із запереченнями щодо класифікації Хаббла як дуже спрощеної, мовляв, вона не відображає багатьох деталей туманностей.

А проте класифікація Хаббла служить науці вже 80 років, хоча офіційно її ніколи не затверджували. Про неї, зокрема, схвально відгукнувся Вальтер Бааде: «Вона дуже проста, але, по суті, немає особливої причини для створення схеми класифікації, яка б враховувала усі дрібні деталі спіральної структури. Про достоїнства системи Хаббла я кажу на підставі досвіду, я використовував її 30 років і хоча наполегливо шукав об'єкти, які справді неможливо було б вкласти у хабблівську систему, їх кількість виявлялась так малою, що я можу перелічити їх на пальцях... Настільки ефективна система Хаббла».

Червоне зміщення. Вже наприкінці XIX ст. астрономи розпочали дослідження променевих швидкостей зір, як також і туманностей. Усвідомлюючи перспективність цього методу, вже згадуваний Уільям Хеггінс написав: «В недалекому майбутньому цей метод роботи, безсумнівно, займе важливе місце в астрономії і, очевидно, саме завдяки йому в майбутньому столітті буде зроблено багато важливих відкриттів».

Спостереження, які привели до відкриття факту червоного зміщення в спектрах галактик, розпочав Весто Слайфер на приватній обсерваторії Персівала Ловелла в Аризонській пустелі на 24-дюймовому рефракторі, цікавлячись не лише планетою Марс, а й походженням Сонячної системи. Ловелл запропонував Слайферові дослідити обертання туманності Андромеди, яка, на його думку, є планетною системою на стадії формування (це нібито підтверджувала зроблена 1888 р. англійцем Ісааком Робертсом фотографія цієї туманності). У вересні 1912 р. Слайфер з експозицією майже сім годин отримав спектр туманності Андромеди. Як виявилось (а Слайфер зважився опублікувати результат лише після декількох контрольних спектрограм), променева швидкість туманності сягала 300 км/с, що свідчило про її рух до нас зі швидкістю, значно більшою, ніж у зір, – для них ці швидкості дорівнюють 20...30 км/с.

Своє повідомлення про цей факт Слайфер закінчив словами: «Розширення роботи на інші об'єкти може дати результати фундаментальної важливості». Ловелл запропонував йому провести таке ж дослідження для інших туманностей, а колишній учитель Слайфера висловився так: «Мені здається, що Ви знайшли золоту жилу і, старанно працюючи, зможете зробити внесок такого ж значення, як у Кеплера, лише зовсім іншого типу».

Невдовзі Слайфер отримав спектр туманності NGC 4594 в Діві, її швидкість виявилася рівною 1000 км/с. Такі результати, а їх до кінця 1914 р. Слайфер отримав близько 40, вимагали експозицій в декілька десятків годин, тобто багатьох ночей.

За інтерпретацію явища бралися декілька астрономів. Зокрема, асистент Лікської обсерваторії Паддок у 1916 р. висловив здогад, що туманності «віддаляються не лише від спостерігача чи нашої зоряної системи, а й одна від одної». Слайфер, однак, теоретичним узагальненням не займався, він ретельно проводив спостереження, довівши у 1917 р. число вимірів до 25. Про виявлений ним факт обмежився зауваженням: «Це може означати, що спіральні туманності розлітаються, але їх розподіл на небі не узгоджується з цим, оскільки вони мають тенденцію до утворення скупчень». Водночас оскільки для зір таких великих рухів не виявлено, то, на думку Слайфера, туманності таки мали б бути деякими зоряними островами і аж ніяк не об'єктами, з яких формуються планетні системи.

Зі свого боку, теоретик, професор Лейденського університету (Нідерланди) Віллем де Сіттер, який у 1917 р. опублікував свою космологічну модель (див. розд. 22, § 1), не мав сумніву в тому, що «спіральні туманності найімовірніше перебувають серед найдальших об'єктів з усіх, які ми знали» і передбачував, ще «в дуже віддалених об'єктах ми повинні очікувати великі або дуже великі променеві швидкості».

Тоді ж, у 1917 р., німецький астроном Карл Вірц (1876–1939) зробив висновок, що «система спіральних туманностей відносно сьогоденішнього положення Сонячної системи як центра рухається геть зі швидкістю приблизно 656 км/с». У 1921 р. він же вперше назвав зміщення ліній у спектрах туманностей *червоним зміщенням*.

У 1925 р. Слайфер довів число об'єктів з надійно вимірними променевими швидкостями до 45. Однак природою самого явища він, як і раніше, не зацікавився.

У 1919 р. А. Еддінгтон за спостереженням положень зір поблизу сонячного диска при затемненні Сонця (в момент фотографування корона ледве проглядалась крізь хмари!) підтвердив правильність загальної теорії відносності Ейнштейна, що стала основою космології (розд. 22, § 1). Прийнявши це до уваги, Вірц у 1924 р. опублікував статтю «Де Сіттерівська космологія і радіальні рухи спіральних туманностей», в якій намагався виявити зв'язок променевих швидкостей далеких об'єктів з їхніми відстанями. Однак за міру відстаней він прийняв видимі діаметри туманностей, а тому залежність виявилася дуже непевною. Тоді ж і цією ж проблемою займався Лундмарк, також приймаючи, що всі туманності мають однакові розміри. Висновок був таким: «Наносячи променеві швидкості напроти відносних відстаней, ми знаходимо, що між двома величинами може бути зв'язок, хоча й не дуже впевнений». Невдовзі Лундмарк заявив таке: «У спіралей навряд чи можна виявити променеві швидкості, які б перевищували 3000 км/с».

У 1925 р. рухом туманностей зацікавився і співробітник обсерваторії Маунт-Вілсон Густав Стремберг. Висновок його був невтішним: «Ми не знайшли достатніх підстав вважати, що існує якась залежність радіальних рухів від відстані до Сонця». Таку ж невдалу спробу (вона була останньою перед Хабблом) встановити зв'язок швидкості з відстанню до туманності, опираючись на її видимий діаметр, зробив 1927 р. німецький астроном Дозе.

З'ясувати цю проблему зумів Хаббл. Однак результатів, отриманих Слайфером на 24-дюймовому телескопі, було замало: їх необхідно було поповнити за допомогою 100-дюймового телескопа. Допоміг у цьому вже згаданий Мілтон Х'юмасон – син каліфорнійського банкіра, який у 14-річному віці вирішив не вчитися більше в школі і найнявся в обсерваторію Маунт-Вілсон двірником. Невдовзі, як вже згадувалося, він став без перебільшення найкращим у світі спостерігачем. У 1928 р. Х'юмасон від ночі до ночі, наводючи телескоп на один і той же об'єкт, за 36–45 годин експозицій зумів отримати спектр туманності NGC 7619. Її променева швидкість виявилася 3779 км/с . Зразу ж у березні 1929 р. у «Працях» Національної академії наук з'явилося повідомлення Х'юмасона про цей факт і стаття Хаббла «Зв'язок між відстанню і променевою швидкістю позагалактичних туманностей», яку вважають однією з найвидатніших за всю історію астрономії.

Хаббл на цей час мав променеві швидкості для 46 об'єктів, з них у чотирьох – туманності Андромеди, двох її супутників і туманності Трикутника – вони були від'ємними, в усіх інших – додатними. Для 24 із них були відомі й відстані. Це дало змогу записати співвідношення $v = K \cdot z$ при $K = 500 \text{ км/с/Мпк}$. Водночас Хаббл здійснив

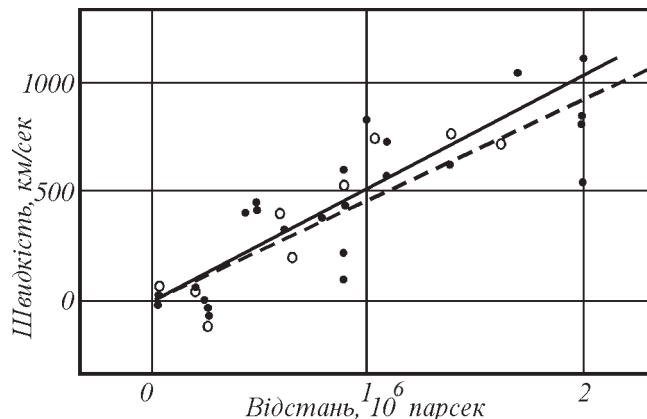


Рис. 5. 5. Залежність швидкості віддалення галактики від відстані до неї за Хабблом (пунктир – дані 1929 р., суцільна лінія – 1936 р.).

спробу встановити відстані і до інших 22 туманностей, для яких v були відомі, за їхньою видимою величиною. В сумі це дало дещо більше значення сталої – $K \approx 530 \text{ км/с/Мпк}$, залежність же залишилася в

загальному такою ж (рис. 5.5). Хаббл писав: «Результат встановлює орієнтовно лінійний зв'язок між швидкостями і відстанями туманностей, для яких раніше були опубліковані променеві швидкості». І тому «залежність швидкість – відстань може зображати ефект де Сіттера..., кількісні дані дають можливість їх використання для розгляду загальної кривини простору».

Невдовзі, на честь Хаббла, позначення сталої було змінено з K на H . І зразу ж фізик Річард Толмен (1881–1948), основоположник релятивістської термодинаміки, назвав знайдене співвідношення «залежністю Хаббла». З неї, і це було очевидним для всіх, випливало, що величина $t = r/v = t_H$ є однаковою для кожної з галактик. А отже, що t_H років тому всі вони розпочали свій рух з якогось особливого стану незвичайної концентрації речовини. Розпочалося зіставлення цього «віку Всесвіту» з віком Землі і з'явилася проблема вибору моделі Всесвіту (розд. 22, § 1).

У 1929 р. Х'юмасон і Піз виміряли променеві швидкості для трьох галактик з сузір'я Волосся Вероніки – 7500 км/с, для найяскравішої туманності зі скупчення у Великій Ведмедиці $v = 19\,700$ км/с. До березня 1931 р. v було знайдене для 46 нових об'єктів. У спільній публікації Хаббла і Х'юмасона зроблено вже висновок, що ці дані дають інформацію про «інтервал відстаней, який є приблизно у 18 разів більшим, ніж це було в попередньому дослідженні... Але форма кореляції залишається незмінною... і таким чином залежність швидкість–відстань виглядає загальною характеристикою спостережуваної ділянки простору. Крім свого космологічного значення залежність дає новий метод визначення відстаней індивідуальних об'єктів... Це відкриває нові можливості у дослідженні туманностей». Для сталої Хаббла тоді було знайдено значення 560 км/с/Мпк.

У 1934 р. в Хаббла вже були дані про 85 галактик, у 1936 р. – про 100. Рекордною на той час була швидкість галактики зі скупчення у Великій Ведмедиці: $v = 42\,000$ км/с. Для 100-дюймового телескопа це було межею. Дальше розширення горизонтів Всесвіту сталося після введення в дію у 1949 р. 200-дюймового рефлектора Паломарської обсерваторії (див. § 2).

§ 2. ГАЛАКТИКИ: ФІЗИКА, РОЗПОДІЛ У ПРОСТОРИ

Друга половина ХХ ст. – це період бурхливого розвитку поза-галактичної астрономії, упродовж якого проводилося вивчення галактик як інших, поза нашою, велетенських зоряних систем. Зокрема, розроблено методи визначення їхніх мас і світностей, досліджено їхнє населення тощо. Однак найголовнішим упродовж десятиліть залишалося (і все ще залишається) питання про відстані до цих об'єктів, оскільки відповідь на нього визначає вік не лише світу галактик, а й Всесвіту в цілому.

ПЕРЕГЛЯД ШКАЛИ ВІДСТАНЕЙ. Фактично зразу ж після піонерських праць Е. Хаббла стало очевидним, що при встановленні відстаней до галактик допущено якісь помилки. Зокрема, якби справді Магелланові Хмари перебували на відстані близько 30 кпк, то на фотографіях цих об'єктів можна було б виявити змінні типу RR Ліри. Оскільки ж цих зір не вдавалося зафіксувати, то відстань до Магелланових Хмар слід приймати більшою. Далі, за своєю формою туманність Андромеди – така ж, як і наша Галактика. Проте, якщо відстань до неї 300 кпк, то світності виявлених у ній кулястих зоряних скупчень були значно менші, ніж у нашій Галактиці. Та й розміри туманності Андромеди мали б бути значно меншими від неї, хоча обидві галактики є об'єктами однакового типу.

З іншого боку, у 1944 р. французький астроном А. Міньор, переглянувши оцінки відстаней до цефеїд у нашій Галактиці, зробив висновок, що їхні абсолютні величини на $1,5^m$ яскравіші, ніж це приймалося раніше. Такий же висновок зробив і В. Бааде, про що він і доповів у 1952 р. у Римі на черговому Конгресі МАС. Бааде насторожило те, що йому не вдалося виявити в М 31 зорі типу RR Ліри за допомогою 5-метрового телескопа, хоча гранична величина цього інструмента 23^m . Для змінних же типу Міри Кита, які на $1,5^m$ яскравіші за ліриди, замість очікуваних величин $20,9^m$ отримано $22,4^m$. Звідси випливало, що Хаббл помилився і що Туманність Андромеди є на відстані удвічі більшій. Саме за такої умови ліриди є за межами видимості 5-метрового телескопа. Тоді й кулясті скупчення, і зорі-надгіганти в М 31 зрівнюються за яскравістю з такими ж об'єктами Галактики. Та й сама Туманність Андромеди за розмірами і світністю стає рівною нашій Галактиці і навіть дещо перевищує її.

Як сказано вище, для усунення цієї помилки Хаббла криву період–світність для цефеїд було зміщено вгору на $1,5^m$. Приймаючи це до уваги, а також переглянуті і нові дані про червоне зміщення для 800 галактик, М. Х'юмасон, Н. Мейол та А. Сендідж у 1955 р. отримали нове значення сталої Хаббла $H = 180$ км/с/Мпк.

Наступний перегляд даних, що стосуються сталої Хаббла, А. Сендідж здійснив у 1958 р. Він дійшов висновку, що модулі відстаней до найближчих позагалактичних об'єктів слід збільшувати не на $1,5^m$, а на $2,3^m$ у порівнянні з даними Хаббла (ці відстані не удвічі, а втричі більше). Але, що головне, Сендідж виявив у Хаббла і таку помилку: відстані до галактик за межами Місцевої групи Хаббл визначав за виявленими в них найяскравішими зорями, насправді ж ці об'єкти є зонами іонізованого водню (зонами H II), яскравість яких у середньому на $1,8^m$ більша, ніж у найяскравіших зір. Причиною помилки було те, що в 20-х роках Хаббл міг працювати лише з фотоемульсіями, чутливими до синіх променів, а на них відрізнити в далеких галактиках компактні об'єкти H II від зір було неможливо (Хаббл навіть в M 31 не зміг виявити жодної емісійної туманності, це вдалося лише В. Бааде, який вже використовував пластинки, чутливі до червоних променів, і відповідні світлофільтри).

Таким чином, у 1958 р. А. Сендідж дійшов висновку, що стала Хаббла є в межах 50...100 км/с/Мпк. Через десять років, у 1968 р., він же, використовуючи за індикатори відстані найяскравіші галактики у скупченнях, отримав число $H = 75$ км/с/Мпк (рис. 5. 6). Орієнтуючись на загальну тенденцію до зменшення сталої H , значна частина астрономів прийняла її значення 50 км/с/Мпк і відповідний «вік Всесвіту» близько 18 млрд. років.

Дискусія з цього приводу триває. Так, А. Сендідж і швейцарський астроном Г. Тамманн у 1986 р. підтвердили цю величину $H = 50$ км/с/Мпк «для всіх практичних цілей». Що більше, Г. Тамманн навіть допустив, що це число є в межах 35...75. У 1993 р. згадані автори для одної з добірок галактик вказують число 51 ± 4 , для іншої – 47 ± 5 . У 1994 р., опираючись на дані телескопа Хаббла, 52 ± 9 , в 1995 р. 54 ± 8 .

Є, однак, інша група спеціалістів з міжгалактичних відстаней на чолі з французьким астрономом Жераром де Вокулером (народ. 1918 р.), яка відстоює «коротку» шкалу міжгалактичних відстаней. У 1982 р. Вокулер зробив висновок: «Найімовірніше значення

хабблівської сталої... 95 ± 10 км/с/Мпк..., або у загальнішому вигляді $116 \geq H \geq 81$ км/с/Мпк». У 1992 р. С. ван ден Берг подав $H=76 \pm 9$,

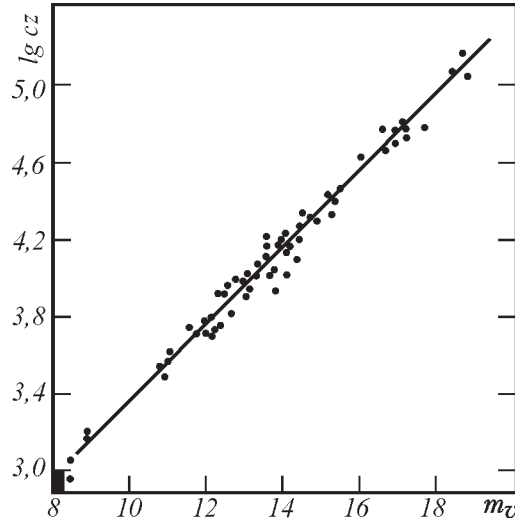


Рис. 5. 6. Діаграма Хаббла за даними А. Сендіджа (середина 70-х років; чорний прямокутник у лівому нижньому куті відповідає даним, що були доступними Хабблу в 1929 р.).

у 1994 р. Венді Фрідман – 80 ± 17 , Дж. П. Острайкер – 70 ± 15 , у 1995 р. співробітники Міжамериканської обсерваторії Серро Тололо – $62...67$ км/с/Мпк.

Якщо ж говорити конкретно про різні методи встановлення відстаней до галактик, то цефеїди з цією метою першим використав Е. Хаббл. Метод найяскравіших зір запропонував у 1919 р. К. Лундмарк і використав у 1936 р. Хаббл. Метод зон Н II – у 1953 р. Дж. Гамов і Ж. де Вокулер, метод кутових розмірів галактик запропонував Лундмарк (1919 р.) і застосував (1936 р.) Ф. Цвіккі. Метод нових зір розробив Д. Мак-Лафлін у 1945 р., виявивши важливу закономірність: чим швидше спадає блиск нової (приймається – на три зоряні величини від найбільшого), тим більша її світність у максимумі.

Маси і світності. Проблема визначення основного параметра галактики – її маси – виявилася нелегкою. Вихідним тут було припущення, що на деякій відстані a від центра системи сила тяжіння зрівноважується відцентровою. Тому необхідно було передусім визначити особливості розподілу з a лінійних (а отже, і кутових)

швидкостей обертання галактик. Обертання декількохспіральних «туманностей» навколо своїх осей було вперше виявлене М. Вольфом і В. Слайфером у 1914 р. для М 31 і NGC 4594 (туманність Сомбреро у Діві), досліджували нахил спектральних ліній. До 1933 р. осьове обертання встановлене лише для шести галактик, до 1939 р. – близько десяти. Маючи дані про згадані два об'єкти, Е. Хаббл у 1926 р., виходячи з уявлення про рівність доцентрової та відцентрової сил, оцінив масу центрального ядра М 31 в $3,5 \cdot 10^9 M_{\odot}$, а масу ядра NGC 4594 у $2 \cdot 10^9 M_{\odot}$. Через три роки Дж. Джинс розглянув питання про середню густину ядер обох цих об'єктів.

Близько десяти років, услід за Хабблом і Джинсом, приймали, що маса галактики дорівнює приблизно масі її ядра. І лише у 1939 р. американський астроном Хорес Бєбкок довів, що в центральне ядро галактики М 31 входить лише незначна частина усієї її маси, тоді як «...дуже велика частина маси туманності повинна знаходитися у зовнішніх зонах». За Бєбкоком, маса центрального ядра – це менше 1% загальної маси галактики М 31.

У 1942 р. А. Уайз і Н. Мейял розробили метод оцінки розподілу мас у галактиках за спостережуваними в них диференціальними променевими швидкостями. Цей метод вдалося застосувати до галактик, коли їх можна розглядати як плоскі однорідні диски. Так для декількох об'єктів було оцінено маси і доведено, що вони перевищують масу нашої Галактики.

Деяко раніше, у 1936 р., С. Сміт розпочав дослідження відносних швидкостей галактик у скупченнях і тим самим оцінив маси компонентів, застосовуючи теорему про віріал. Зразу стало очевидним, що його результати суперечать оцінкам Хаббла–Джинса, і було висловлено припущення, за яким маси галактик у скупченнях набагато більші, ніж маси галактик поля. Невдовзі, однак, зроблено інший висновок, що помилковим є припущення, нібито основна маса галактик скупчена в їхніх ядрах.

У 1937 р. Ерік Хольмберг (Швеція) розробив метод визначення мас галактик – членів подвійних систем, який подібний до методу визначення мас компонентів спектрально-подвійних зір. Покладалося, що маси членів системи однакові, а розподіл кутів між площиною орбіти подвійної системи і променем зору є випадковим. Більш строгою теорію, в якій враховувався зв'язок між відносною

швидкістю компонентів та їхньою кутовою відстанню, розробив він же у 1954 р.

Доречно зауважити, що в 20-х роках для оцінки маси галактики використовували пропорцію: маса галактики так відноситься до її світності, як маса середньої зорі до її ж світності. У 1952 р. цю залежність детальніше проаналізував Р. Пейдж, а в 1954 р. В. Ломан.

В середині ХХ ст. завдяки працям Я. Оорта, М. Шварцшильда, Ж. Вокулера, Е. Хольмберга та багатьох інших поступово було з'ясовано, що закони розподілу уздовж радіуса галактики густини мас, з одного боку, і світностей, з другого, не цілком відповідають один одному, оскільки відношення M/L зі збільшенням r монотонно і швидко зростає. Так вже тоді зроблено висновок, що більша частина маси галактик не світиться або світиться слабо. Як підкреслив Е. Хольмберг, маса галактики визначається переважно слабкими зорями, тоді як її інтегральна світність – найяскравішими зорями. Окремо у 1958 р. А. Поведа розглянув питання про встановлення маси еліптичних галактик за виміряною дисперсією швидкостей їхніх зір, опираючись на теорему про віріал. Методи визначення мас галактик розробляли й удосконалювали Р. Мінковський, Дж. та Е. Бербіджі, Яан Ейнасто (народ. 1929 р., Естонія) та інші.

НАСЕЛЕННЯ ГАЛАКТИК. Поступово було нагромаджено дані, за якими можна стверджувати, що як населення, так і окремі форми дифузної речовини у нашій та в інших галактиках є дуже подібними. На це, зокрема, вказував Е. Хаббл, виявивши на фотографіях М 31, зроблених з 2,5-метровим телескопом, 140 кулястих скупчень. Згодом виявлено скупчення зір у Магелланових Хмарах і, зокрема, у 70-х роках П. Ходж налічив у ВМХ до 1600 скупчень, з них 35 – кулястих. У деяких із них знайдено ліриди, чим підтверджено подібність цих скупчень до аналогічних об'єктів Галактики. Важливим було відкриття у ВМХ кулястих за формою, але «голубих» скупчень, в яких багато біліших зір і які не мають аналогу в Галактиці. Для ММХ у 1975 р. М. Брюк склав каталог візуальної класифікації 330 скупчень, а Г. Альціано – атлас діаграм «колір – зоряна величина» червоних і голубих кулястих скупчень у Хмарах.

Скупчення, зокрема кулясті, до 70-х років виявлено у близько 30 галактиках. Зокрема, В. Харріс та М. Сміт у 1975 р. в галактиці М 87 (NGC 4486 у Діві) налічили не менше 4000, очевидно, кулястих

скупчень, що вважається нижньою межею. Як виглядає, не було знайдено ніякої кореляції числа кулястих скупчень ні зі світністю, ні з типом галактики, а отже з її масою. Так, немає кулястих скупчень у багатьох гігантських еліптичних галактиках у скупченні Діви.

У неправильних галактиках і в вітках спіральних галактик виявлено як складові структурні одиниці асоціації гігантів, а також надасоціації – великі комплекси гарячих гігантів і світлих газових туманностей. У 1963 р. Т. і І. Вальравени дослідили надгіганти в МХ. З'ясовано, зокрема, подібність їхнього хімічного складу з аналогічними об'єктами Галактики. Це ж стосується зір Вольфа–Райє і планетарних туманностей. У 1964 р. С. ван ден Берг в М 31 виявив 480 асоціацій зір ОВ. З 1968 р. розпочато вивчення розподілу різних типів зір і в галактиках за межами Місцевої групи.

Дослідження населення еліптичних галактик і ядер спіральних галактик розпочато 1944 р., коли В. Бааде на своїх фотографіях розклав на зорі центральну лінзу М 31 та еліптичні галактики М 32, NGC 205, 147 і 185. Невдовзі П. Ходж виявив у середній частині далекої напівкарликової еліптичної галактики NGC 185 більше десяти голубуватих зір-гігантів, що було зовсім незвичним для еліптичних галактик.

З середини 50-х років здійснюється детальне вивчення інтегральних спектрів галактик та їхніх частин, в яких холодні зорі проявляють себе у червоній, тоді як гарячі – у синій частині спектра. Розроблено методи добору моделей з певним співвідношенням зір різних спектральних класів і зіставлення їх зі спостереженнями методами багатокольорової широкої і вузькосмугової фотометрії.

Поступово досліджували і дифузний компонент речовини галактик, який виявляє себе у трьох видах: 1) темних смуг уздовж екватора галактик, дискретних каналів чи темних плям на зображенні об'єкта, 2) як газ, що виявляється за яскравими лініями в інтегральному спектрі або ж безпосередньо як зони Н II і 3) як невидимий нейтральний водень, випромінювання якого реєструють в радіолінії 21 см. Дифузною речовиною вважають і релятивістський газ, що обумовлює синхротронне радіовипромінювання галактик.

Особливості розподілу пилу в об'єктах «Хабблівського атласу галактик» А. Сендіджа проаналізував Б. О. Воронцов-Вельямінов у 1957 і 1963 рр. Він звернув увагу на велику різноманітність у розподілі

пилових мас і зазначив, що ні абсолютно, ні відносно кількість пилу в галактиках оцінити неможливо. Зокрема, зі спостережень випливає, що у спіральних галактиках його вміст є дуже різним і не залежить від типу галактики. У найближчих галактиках вдалося виявити і дискретні дифузні газові туманності. На 1967 р. П. Ходж у 60 галактиках виявив загалом 2000 зон Н II, причому понад 180 їх знайдено в NGC 628 і 183. Атлас пилових волокон і зон Н II в галактиках опублікувала у 1974 р. Б. Ліндс, тоді ж П. Ходж зробив огляд про зони Н II в галактиках.

Дослідження вмісту нейтрального водню в інших галактиках розпочали у 1953 р., коли його було виявлено у Магелланових Хмарах і зразу ж в М 31. Перший аналіз результатів опублікував у 1962 р. М. Робертс. Далі серед інших виділяється публікація Дж. Фішера і Р. Таллі (1975 р.), які визначили маси зон Н II, а за ними і повну масу, в 179 карликових неправильних галактиках, які, як виявилось, найбагатші на водень.

ПРОБЛЕМИ ЗОРЕУТВОРЕННЯ. Як і при з'ясуванні питань еволюції Галактики, у фізиці галактик виділено декілька аспектів: 1) динамічна еволюція, 2) хімічна еволюція (історія збагачення), 3) історія зореутворення і 4) еволюція зоряного складу (фотометрична еволюція). Детальний аналіз запропонованих різними авторами моделей перелічених тут процесів здійснила у 1980 р. Б. М. Тінслі. Головний висновок (аналогічний і щодо процесів у Галактиці) такий: існують коливання швидкостей зореутворення двох типів. Перший – відносно невеликі зміни, які проявляються у фотометричних властивостях галактики, і другий – глобальні варіації, що визначають фундаментальну структуру галактики – її тип, розподіл у ній маси тощо. Як відмітив Р. Ларсон у 1977 р., несхожість спіральних і еліптичних галактик мала б бути обумовлена різною швидкістю перетворення газу в зорі у цих системах.

Припущення про спалахи зореутворення ввели у 1973 р. Л. Сірл, В. Саргент і В. Багнуло для пояснення аномально голубих кольорів деяких карликових галактик. Зокрема, у 1976 р. Г. Ольсон, і Дж. Пення, пояснюючи інтегральний показник кольору Магелланових Хмар, поклали, що в цих галактиках були моменти інтенсивного зореутворення. У 1980 р. П. В. Ходж оцінив, що в галактиках IC 1613 та NGC 6822 утворення скупчень відбувається періодично через $\sim 10^8$ років, тоді як асоціацій через близько 10^7 років.

Однак що стосується темпів початкового зореутворення в галактиках різних типів, тут і сьогодні є мало даних для конкретних висновків. У середині 70-х років вважали, що практично весь газ в еліптичних галактиках сконденсувався в зорі на ранній стадії їх еволюції, так що ці зорі мають такий же вік, як і галактики. Однак на початку 80-х років отримано дані про те, що основне зореутворення у багатьох галактиках закінчилося не 10^{10} , а $5 \cdot 10^9$ років тому.

Рядом дослідників, зокрема Р. Ларсоном (1974 р.), Б. М. Тінслі (1980 р.), М. Пеймбертом і А. Серрано (1982 р.), здійснено аналіз окремих аспектів хімічної еволюції речовини галактик. Є підстави стверджувати, що на ранніх стадіях активного зореутворення в галактиці значна частина газу може залишити систему у формі *галактичного вітру*, причому в карликових галактиках ця втрата могла б на два порядки перевищувати масу, яка залишилася. Механізм викиду газу пов'язують зі спалахами наднових, з нагрівом і турбулізацією міжзоряного середовища енергією наднових.

Скупчення галактик. Аналізуючи розподіл 20 000 галактик до 20^м, Е. Хаббл у 1931 р. зробив висновок, що скупчення галактик на небі зустрічаються дуже рідко: одне скупчення на 30 кв. градусів і, таким чином, на небі їх мало б бути усього близько 1400. Насправді до 1936 р. їх було відомо менше 70. На протипагу Хабблу Х. Шеплі та К. Лундмарк все ж твердили, що в розподілі галактик «тенденція до скупчування є визначальною рисою».

У той час крім Хаббла скупченнями галактик зацікавилися Х. Шеплі і А. Еймс, які в 1926–1930 рр. здійснили аналіз розподілу галактик в сузір'ї Діви і Волосся Вероніки. Тоді ж, 1928 р., В. Бааде виявив групу галактик з 60 об'єктів на площі усього 0,06 кв. градуса у Великій Ведмедиці (тоді як поруч густина галактик була в 12 разів меншою), а М. Вольф виявив скупчення з 1500 галактик поблизу північного полюса Молочного Шляху. Важливу роль у дослідженнях скупчень галактик зіграв Ф. Цвіккі. З 1933 по 1952 р. він проаналізував положення близько мільйона галактик і довів, що згаданий висновок Хаббла слід «перебудувати»: якраз скупчення є правилом, тоді як окремі галактики – винятком. За Цвіккі, увесь мегагалактичний простір можна розділити на «клітинки» – скупчення галактик з середнім об'ємом 400 Мпк³, причому число галактик у великому скупченні сягає 10 000 членів.

У 1958 р. Г. Ейбел на основі Паломарського атласу опублікував каталог 2712 багатих скупчень. У 1961–1968 рр. Ф. Цвіккі у співавторстві з Е. Герцогом, М. Карповичем та К. Ковалом опублікував шеститомний каталог галактик та їх скупчень (CGCIG), в якому загалом налічується близько 30 000 об'єктів, зокрема декілька тисяч скупчень.

В 70-х роках отримано переконливі докази того, що Галактика, Туманність Андромеди і близько 30 карликових галактики утворюють єдину систему розміром близько 1,5 Мпк. Що більше, як це було доведено незалежно групами Я. Ейнасто і Дж. П. Острайкера, з факту гравітаційного взаємозв'язку об'єктів впливає, зокрема, що маса невидимої корони Галактики на порядок перевищує масу її зір. Дещо раніше, у 1973 р., Острайкер і П. Піблс здійснили аналіз проблеми існування дископодібних зоряних систем. Було зроблено висновок, що стійкість такої системи забезпечується внутрішнім гало – масивним сфероїдальним компонентом в межах зоряного диска. Машинні експерименти Ф. Хола (1975 р.) довели, що коли 60% маси системи перебуває у формі гало, яке обертається дуже повільно, то диск буде стійким відносно збурень. У свою чергу згадані дослідження скупчень галактик показали, що повинно існувати і зовнішнє гало або корона галактики, яка простягається далеко за межі видимого радіуса галактики.

МАСШТАБ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ У ВСЕСВІТІ. До кінця 70-х років скупчення галактик вважали, найбільшими елементами в рамках ієрархічної структури Всесвіту. На початку 80-х років, однак, з'ясовано, що між окремими скупченнями є певні зв'язки. Виділено групи фізично зв'язаних скупчень – *надскупчень*, розміри яких сягають 40...100 Мпк, а маси $10^{16} M_{\odot}$. Властивості таких масштабних неоднорідностей речовини описані у 1983 р. Я. Оортом. Каталог надскупчень опублікований у 1984 р. Н. Бакалом та Р. Сонейра. І хоча поки що досліджено менше 1% об'єму спостережуваного Всесвіту (в напрямі на сузір'я Діви та Волосся Вероніки), то все ж є підстави зробити висновок: скупчення галактик утворюють своєрідний каркас, «обрамлюючи» порожнини – *воїди* або каверни, масштаби яких сягають 100 Мпк. Це і є верхньою межею неоднорідностей розподілу речовини у Всесвіті.

Проблема формування таких неоднорідностей пов'язана з теорією розширення Всесвіту в цілому (розд. 22, § 3). Як довели, зокрема, у 1983 р. Я. Б. Зельдович, А. Г. Дорошкевич і С. Ф. Шандарін, на

певному етапі цього розширення неминуче виникає великомасштабна коміркова структура Всесвіту, в якій в окремих ділянках згущується близько 80% речовини, що здатна світитися і бути зареєстрованою спостерігачем.

§ 3. АКТИВНІ ГАЛАКТИКИ І КВАЗАРИ

Очевидно, першим, хто виявив активні процеси в інших зоряних системах (не беручи до уваги спалахи зір), був Г. Кертіс. У 1918 р., приглянувшись до зображення галактики М 87 в Діві, він повідомив, що з ядра цього об'єкта виходить якийсь прямий промінь. У 1923 р. Е. Хаббл зауважив, що цей викид – *джет* – складається з п'яти зореподібних конденсацій. Проте з'ясування багатьох аспектів активності галактик стало можливим завдяки розвитку радіоастрономічних методів досліджень.

ГАЛАКТИКИ СЕЙФЕРТА І МАРКАРЯНА. У 1943 р. Карл Сейферт (1911–1960, США) опублікував список 12 спіральних галактик, у спектрах яких він виявив широкі емісійні лінії, що свідчать про рухи газових мас зі швидкостями від 500 до 4000 км/с. Для цих об'єктів, які загалом у класифікації Хаббла відносяться до класу *S* і які названо *галактиками Сейферта* (позначення *Sy*), типовим є яскраве зореподібне ядро – потужне джерело оптичного, інфрачервоного і рентгенівського випромінювання. Оптичний спектр ядра характеризується наявністю в ньому сильних емісійних ліній з широкими крилами (*Sy I*) або без них (*Sy II*). Найповніший огляд даних про сейфертівські галактики зробив у 1981 р. Ернест Дибай (1931–1983, СРСР). На 1980 р. їх було відомо близько 200. Деякі з них є потужними джерелами радіовипромінювання, а їхня світність у рентгенівських променях на п'ять порядків вища, ніж у звичайних галактик.

У 1963 р. Беніамін Маркарян (1913–1985, СРСР) встановив, що в деяких галактик типу *E*, *So*, *Sa* і *Sb* спостерігається підвищена інтенсивність в ультрафіолетовому діапазоні. На початок 1983 р. таких *галактик Маркаряна* було відомо близько 2000, з них не менше 10% є галактиками сейфертівського типу.

Ще один клас галактик з нестационарними ядрами становлять *лацертиди*. Їх прообразом є об'єкт ВЛ Ящірки (14,5^m у максимумі блиску), зачислений у 1929 р. К. Гоффмейстером до змінних зір. Наприкінці 60-х років його ототожнено зі змінним радіоджерелом

VRO 42.22.01. Амплітуда зміни оптичного блиску лацертид упродовж декількох десятків діб або лише годин сягає 3...4^m. Певний час вважали, що вони можуть бути незвичайними об'єктами – радіоджерелами у нашій Галактиці.

«ЛЕБІДЬ А ТА ІНШІ». Після того, як до 1950 р. було уточнено координати багатьох радіоджерел, В. Бааде та Р. Мінковський у 1951 р. за допомогою 5-метрового телескопа почали систематично фотографувати відповідні ділянки неба. Їм зразу ж вдалося ототожити радіоджерело Діва А з галактикою М 87 (10^m; відстань 12,3 Мпк) та радіоджерело Кентавр А з галактикою NGC 5128 (7,2^m, відстань 4,6 Мпк). У вересні 1951 р. було отримано фотографії тої ділянки неба, де знаходиться джерело Лебідь А. Тут знайдено слабку галактику 17^m, яка до того ж виявилася подвійною. Подвійним є і саме джерело радіовипромінювання: сигнали сприймаються фактично від двох джерел – ділянок, розташованих на відстанях близько 45'' від оптичного об'єкта.

В. Бааде висловив гіпотезу, за якою оптичний об'єкт є наслідком зіткнення двох галактик. Р. Мінковський з цим не погодився і посперечався з Бааде на пляшку віскі, доводячи малу імовірність такого зіткнення. Доказом правильності ідеї Бааде мало б бути те, що атоми в газових хмарах були б збуджені і тому у спектрі об'єкта повинні б спостерігатися емісійні лінії. Їх було виявлено, і Мінковський визнав свою поразку.

Невдовзі, однак, гіпотезу Бааде піддано сумніву. По-перше, при всіх мислимих взаємних швидкостях руху надто великим є відсоток енергії зіткнення, що перетворюється в енергію релятивістських електронів і далі в енергію випромінювання. По-друге, імовірність таких лобових зіткнень, на що звернув увагу В. А. Амбарцумян, є дуже малою, у сто разів частіше мали б траплятися зіткнення нецентральні. Амбарцумян твердив, що, навпаки, тут спостерігається не зіткнення, а закономірний поділ об'єкта на дві частини, які можуть бути однакові за масою, як у випадку з галактикою – радіоджерелом Лебідь А, або ж з ядра галактики вилітають менші фрагменти, як це спостерігається в М 87. До аналогічного висновку у 1958 р. дійшли Дж. Бербідж та австралійський радіоастроном К. Шейн.

Далі, у 1960–1961 рр., Дж. Болтон (Австралія), як також А. Моффет і П. Малтбі з Каліфорнійського технологічного інституту

показали, що 38% радіоджерел є подвійними, а ще 12% – продовгуватими (тобто, можливо, також подвійними). Тим часом більшість оптичних об'єктів, що їм відповідають, – це поодинокі, а не подвійні галактики. І, отже, ні про яке зіткнення тут не може бути мови. Нарешті Т. Метьюз і М. Шмідт з цього ж інституту у 1961 р. довели, що поодинокі галактики, які пов'язані з більшістю радіоджерел, мають такі ж оптичні спектри, як і Лебідь А, зокрема -яскраві емісійні лінії. Отже, збудження та іонізація атомів у газових коронах радіогалактик не пов'язані із зіткненнями в галактичних масштабах. В супереччі з Бааде мав рацію Р.Мінковський, однак доки це з'ясувалося, Бааде вже помер і не міг повернути назад згадану пляшку...

У 1964 р. американські астрономи Т. Метьюз, У. Морган і М. Шмідт відкрили *N-галактики* – системи з яскравим маленьким ядром і туманною червонуватою оболонкою, що є потужними подвійними джерелами радіовипромінювання. Привернув увагу нетепловий характер їхнього оптичного випромінювання, як також – змінність їхнього блиску – упродовж декількох діб або років. Про деякі теоретичні моделі таких процесів мова буде далі.

Квазари. Після уточнення згаданого вже (розд. 18, § 2) Третього Кембридзького каталога, в якому налічували 450 радіоджерел, А. Дюхерст затратив увесь 1957 рік на зіставлення його з Паломарським атласом неба. З 93 яскравих радіоджерел він зумів ототожнити з галактиками та іншими об'єктами лише 21. Ще 22 об'єкти були під сумнівом і 50 не ототожнювалися взагалі. І лише наприкінці 1960 р. А. Сендідж і Т. Метьюз ототожнили об'єкт 3С 48 із зорею 16^m. Подальші дослідження показали, що в спектрі зорі є емісійні лінії, однак ототожнити їх не вдалося. Ці ж автори у 1962 р. повідомили про ототожнення джерела 3С 286 із зорею 17^m, і в цьому випадку емісійні лінії займали незвичне положення.

У 1962 р. для точного визначення координат окремих радіоджерел англійський радіоастроном К. Хазард запропонував використати явище покриття їх диском Місяця. Невдовзі на австралійському радіотелескопі він разом з М. Меккі та А. Шіммінсом уточнив координати об'єкта 3С 273. Було встановлено, що це радіоджерело – подвійне і що радіокомпонент В є зорею 13^m, яка оточена слабкою туманністю. Вивчаючи спектр цієї «зорі», Мартен Шмідт виявив, що чотири з шести емісійних ліній належать бальмерівській серії

водню, якщо лише їх змістити у фіолетовий бік на величину $z = 0,16$. Зразу після цього Дж.Грінштейн ототожнив таким же чином лінії у спектрі ЗС 48 і знайшов для цього об'єкта $z = 0,37$.

Звідси випливало, що ці «квазізоряні радіоджерела» – *квасари* – є позагалактичними об'єктами і що відстані до них можна визначати, використовуючи закон Хаббла. Знаючи ж їх, встановлено і світності квазарів. Вони виявилися у сотні разів більшими від світності нашої Галактики!

Як тільки об'єкт ЗС 273 було ототожнено, А. С. Шаров та Ю. М. Єфремов, вивчивши пластинки Московської обсерваторії, перевірили, яким був блиск його упродовж 65 років. Виявилося, що він змінювався від $12,0^m$ до $12,7^m$, причому виявлено і порівняно швидкі (протягом декількох діб) коливання на $0,2^m \dots 0,3^m$. На цій підставі оцінено розміри об'єкта – один світловий тиждень, тобто $300\,000 R_{\odot}$. І якщо, за даними Х. Сміта і Д. Хоффлейт (США), виявлені 10-річні коливання блиску обумовлені його пульсаціями, то маса квазара мала б сягати $10^7 M_{\odot}$.

У 1964 р. Дж. Оук на обсерваторії Маунт-Вілсон дослідив розподіл енергії у спектрі об'єкта ЗС 273 і оцінив його ефективну температуру в 16 000 К. Я. Б. Зельдович та І. Д. Новиков, беручи до уваги світність квазара та розглядаючи стаціонарний стан плазми під дією сил тяжіння і тиску випромінювання, оцінили його масу в $3 \cdot 10^9 M_{\odot}$.

В другій половині 60-х років число публікацій, в яких обговорювалися проблеми будови та джерел енергії квазарів, перевищило всі мислимі межі. Це дало привід Джефрі і Маргарет Бербіджам зауважити: «існує так багато суперечливих ідей відносно теорії та інтерпретації спостережень квазарів, що принаймні 95% з них є хибними».

В перші роки дослідження квазарів склалося враження, нібито червоні зміщення ліній в їхніх спектрах дуже часто мають значення, близькі до $z = 1,95$. В. Петерсон, Е. Солпітер і П. Шекерес, як також Й. С. Шкловський і М. С. Кардашов розглядали це як свідчення на користь моделі Всесвіту Леметра (розд. 22, § 1). Згодом з'ясовано, що цей ефект був наслідком спостережувальної селекції. В 1977 р. П. Осмер і М. Сміт навели докази того, що просторова густина квазарів із червоним зміщенням $1,9 < z < 3,25$ є принаймні сталою. Згодом, у 1982 р., П. Осмер зробив висновок, що на більших відстанях ця густина зменшується, оскільки тоді виявити квазари з $z > 3,7$ не вдавалося.

Однак, як це доведено тоді ж групою Б. А. Петерсона, якою було виявлено квазар РК 2000-330 з червоним зміщенням $z = 3,78$, це було обумовлене недостатньою чутливістю вживаних фотопластинок.

У 1965 р. А. Сендідж довів існування значної кількості об'єктів, які в багатьох відношеннях подібні до квазарів, але які не мають помітного радіовипромінювання. Їх було названо *квазагами*, *квазізоряними галактиками*.

Каталог усіх відомих до 1979 р. квазізоряних джерел з відповідним для кожного з них червоним зміщенням опублікований у 1980 р. А. Хюїттом і Дж. Бербіджем, у ньому налічується близько 1500 об'єктів. До 1990 р. це число зросло до понад 2000.

Про спільність рис. Ще в 1967 р. П. Вільямс і Р. Коллінз, дослідивши спектри близько 400 радіогалактик і 170 квазарів, виявили, що обидва типи об'єктів мають цілком аналогічні радіосpektри, що немає помітної різниці між лінійними розмірами і структурами їх як радіоджерел. У 1976 р. група дослідників під керівництвом Е. Пройсса методом апертурного синтезу як у радіогалактиках, так і в квазарах виявила компактні радіоджерела дуже невеликих розмірів порядку $0,1 \dots 10$ пк. В об'єктах обох цих типів однакова структура «ядро + протяжний викид», однакова поляризація випромінювання. Причому, як це було виявлено у 1967 р. Х. Аллером і Ф. Хеддоком, вона однаково змінюється при зміні потужності випромінювання. І ті і ті об'єкти часто є потужними джерелами рентгенівського випромінювання, а в окремих випадках також – інфрачервоного випромінювання. Як радіогалактики, так і квазари проявляють змінність радіовипромінювання, причому як форма амплітуди, так і масштаби часу змінності практично однакові. На цій основі, зокрема, Г. М. Товмасян (1986) дійшов висновку, що основна відмінність між радіогалактиками і квазарами полягає в їх потужностях.

Своєрідну послідовність щодо потужності випромінювання в радіодіапазоні намітили ще в 1964 р. Т. Метьюз, В. Морган і М. Шмідт: нормальні спіральні галактики, еліптичні галактики, так звані D-галактики, N-галактики, квазізоряні радіоджерела. У 1966 р. Д. Хішен побудував діаграму залежності абсолютних радіосвітностей від їхньої поверхневої яскравості, на яку в певній послідовності вкладаються спіральні та іррегулярні галактики, далі радіогалактики і, нарешті, квазари. Через рік на цій основі М. Саймон і Ф. Дрейк

побудували еволюційну послідовність від спіральних галактик до квазарів.

МОЗАЙКА МОДЕЛЕЙ. Питання про природу як радіоджерел, так і квазарів виявилось надзвичайно важким. При потужності об'єкта до 10^{38} Вт за умови, що він перебуває на космологічній відстані, повна звільнена ним енергія сягає 10^{56} Дж, що еквівалентне енергії анігіляції маси близько $10^8 M_{\odot}$. Така енергія може звільнитися внаслідок перетворення в гелій водню з масою $10^{10} M_{\odot}$. При цьому швидкість звільнення цієї енергії мала б бути досить великою. Проблема інтерпретації явища виявилася дуже нелегкою, і не дивно, що в 1967 р. французький астроном М. Лонгейр зауважив: «число теорій квазарів грубо рівне кількості теоретиків-астрофізиків».

Першою спробою пояснити механізм потужного радіовипромінювання галактик була вже згадана гіпотеза про зіткнення галактик, проти якої виступив В. А. Амбарцумян. На його думку, така активність ядер галактик обумовлена розпадом надщільної дозорної речовини, яка нібито існує в цих ядрах. Щоправда, за допомогою відомих фізичних законів не було доведено можливостей існування цієї гіпотетичної речовини. Тому інші автори здійснювали спроби пояснити спостережувані в радіогалактиках і квазарах явища на підставі класичних уявлень про властивості речовини.

У 1960 р. Й. С. Шкловський висловив гіпотезу, за якою джерелом релятивістських частинок у радіогалактиках є спалахи наднових зір. Через рік, доповнюючи цю гіпотезу, Дж. Бербідж поклав, що спалах одної наднової в умовах високої концентрації зір спричиняє ланцюгову реакцію спалахів значної кількості наднових. У 1963 р. С. Колгейт і А. Камерон дійшли висновку, що велика світність квазарів може бути обумовлена нагрівом навколишнього газу, який залишився від попередніх спалахів, газом, викинутим внаслідок наступних спалахів. За однією з таких моделей, в ядрі галактики відбуваються спалахи наднових з частотою 1...100 за рік, внаслідок цього в ньому з'являються пульсари, які і забезпечують спостережуване випромінювання радіогалактик і квазарів.

У 1964–1967 рр. Л. Вольтєром, Т. Голдом, Л. Спітцером, Ф. Хойлом, У. Фаулером та іншими астрофізиками обговорено механізм зіткнення зір у ядрах галактик і квазарів. Було знайдено, що такі процеси справді можуть забезпечити спостережувані величини

енергій. Проте фаза квазара мала б тривати усього 50–100 років. Зразу ж після відкриття квазарів «як таких» Ф. Хойл та У. Фаулер у 1963 р. розглянули механізм звільнення енергії внаслідок гравітаційного колапсу надмасивної зорі. Приймалося, що слабке обертання стабілізує зорю, забезпечуючи її існування упродовж близько 10^6 років. Однак ця гіпотеза зіткнулася з цілою низкою труднощів. Тому в 1966–1973 рр. Л. М. Озерной (СРСР) розробляв іншу модель, за якою при конденсації значної маси за наявності сильного магнітного поля утворюється квазістаціонарна конфігурація – *магнітоїд*, рівновага якого підтримується обертанням, тороїдальним магнітним полем і тиском випромінювання, що перешкоджають колапсу надмасивного тіла. Внаслідок нерівномірного обертання мали б наставати вибухи, при яких з магнітоїда викидаються релятивістські частинки і плазма, що й обумовлюють потужне радіовипромінювання об'єкта. Своєрідним «холодним» варіантом магнітоїда є *спінар* – гігантський пульсар, модель якого у 1969 р. була запропонована Ф. Моррісоном.

У 1956 р. Дж. Бербідж та Ф. Хойл, а в 1962–1965 рр. Х. Альвен розглянули механізм анігіляції речовини з антиречовиною. Однак, його слабким місцем залишається те, що припущення про існування антиречовини у Всесвіті є не обґрунтованим, як і те, що спектр випромінювання при цих процесах істотно відрізнявся б від спостережуваного.

Е. Солпітером і незалежно Д. Лінден-Беллом у 1964 і 1969 рр. розроблялася модель чорної діри, що виникла внаслідок колапсу поблизу центра галактики. Джерелом енергії випромінювання мала б бути акреція на чорну діру речовини з навколишнього простору. Однак всі спостереження свідчать лише про рух речовини назовні, і немає даних на користь акреції.

Серйозною проблемою є і механізм переносу енергії від активного ядра в зони, де генерується радіовипромінювання. Запропоновані моделі діляться на три групи. У першій групі моделей, одну з яких у 1969 р. запропонував Ф. Моррісон, енергія у найвіддаленіші зони радіовипромінювання переноситься пучками релятивістських електронів, що викидаються з ядра. У другій, запропонованій у 1958 р. В. А. Амбарцумяном і детальніше у 1967 р. розглянутій Дж. Бербіджем, передбачається викид з ядра у протяжні зони радіовипромінювання конденсованих об'єктів, плазмоїдів, що містять магнітне

поле і релятивістські електрони, за іншим варіантом це можуть бути навіть чорні діри або спінари. Ніяких конкретних обчислень тут не зроблено. У третій групі моделей йдеться про поодинокі або рекурентні викиди з ядра оптичного об'єкта фрагментів, що складаються з теплової плазми і релятивістських частинок, пронизаних магнітним полем. Її розглядали, зокрема, у 1967 р. Д. С. де Юнг і В. Оксфорд, а в 1973 р. В. Джефф та Г. Перла.

Було розглянуто й варіант, за яким квазари взагалі не є космологічними об'єктами, а перебувають всередині нашої Галактики або в її близьких околицях. Перше припущення висловив у 1964 р. Дж. Террел, друге розглянули у 1966 р. Ф. Хойл і Дж. Бербідж. Вважали, що квазари – це наслідок виверження фрагментів речовини з ядра одної або декількох близьких галактик. Однак, і це було доведено М. Шмідтом у 1968 р., ця гіпотеза не усуває енергетичних труднощів, хоча була запропонована саме з цією метою. Далі, у 1966 р. Х. Арп спробував довести, що квазари і радіоджерела викидаються попарно з ядер пекулярних галактик спочатку у вигляді хмар релятивістських електронів, згодом же з цієї речовини формуються квазари і радіогалактики. Ця гіпотеза, однак, не могла пояснити, чим обумовлені великі червоні зміщення квазарів.

Детальний аналіз усіх цих моделей, як і вичерпний список відповідних публікацій, що з'явилися до середини 80-х років, подані у монографії Г. М. Товмасьона (1986).

ПРОБЛЕМА НАДСВІТЛОВИХ ШВИДКОСТЕЙ. У 1967 р. М. Ріс довів, що при розширенні джерела випромінювання зі швидкістю, сумірною зі швидкістю світла ($v \approx c$), різниця часу в реєстрації випромінювання від частин джерела, які відповідно рухаються в бік спостерігача і від нього, може спричинити спостережуване кутове розширення з уявними надсвітловими швидкостями.

Першим експериментальним підтвердженням згаданого ефекту стали спостереження квазара 3С 273, проведені Дж. Габбеєм (з п'ятьма співробітниками, публікація 1969 р.). Було зроблено висновок, що це радіоджерело розширюється зі швидкістю $v/c = 2$. У 1971 р. цей висновок був підтверджений двома групами дослідників, що вимірювали кутові розміри джерела за допомогою радіоінтерферометрів з наддовгими базами. Упродовж 70-х років для квазара 3С 273 отримано швидкості розширення 4,2 і навіть 5,2с.

Для джерела 3С 279 ця швидкість сягає $10c$. До середини 80-х років з достовірністю визначено надсвітлові швидкості «розширення» в радіоджерел 3С 120, 273, 279, 345, NRAO 140. Як виглядає, цей ефект спостерігається в половини сильних радіоджерел.

Однак згадана модель Ріса не в змозі пояснити приблизну рівність інтенсивностей компонентів, бо тут повинен істотно проявитися ефект Доплера. Тому було запропоновано ряд інших варіантів. Так, Л. М. Озерной і В. М. Сазонов (СРСР) розглядали релятивістський рух у протилежних напрямках двох ідентичних хмар релятивістських електронів при їх одночасному розширенні (1969 р.). П. Моррісон (у співавторстві, 1971 р.) розглянув прожекторний ефект, за допомогою якого у 1939 р. П. Кудер пояснив розширення з надсвітловою швидкістю туманності, яка розташована поблизу Нової Персея. Р. Епстейн і М. Геллер у 1977 р. розглянули модель, в якій услід за викинутими в протилежні боки фрагментами джерел енергії формуються порожнини, пронизані магнітними полями і наповнені частинками. У цій ситуації видима швидкість обумовлена ефектом фазового зміщення в положенні ділянки, де поверхнева яскравість джерела досягає максимуму.

Найприйнятнішою, очевидно, є модель релятивістського потоку, запропонована у 1979 р. Р. Блендфордом та А. Кьоніглом і тоді ж незалежно В. Л. Гінзбургом. Тут швидкість руху «сигналу» в картинній площині визначається діленням відстані, що її досягнув фрагмент на певний момент часу відносно напрямку «спостерігач–квazar», на різницю часу реального руху фрагмента і руху світлового сигналу до цієї площини.

Загалом же «з виявленням ні з чим незрівнянних... енергетичних процесів, які відбуваються у ядрах галактик, розпочалася нова епоха в позагалактичній астрономії. Хоча фізична природа цих явищ до кінця не з'ясована, спостережувані дані про них... виявляють найсильніший вплив на концепції будови й еволюції Всесвіту» (В. Г. Горбацький, 1986).

Розділ 22. ВСЕСВІТ ЯК ЦІЛЕ

Саме так формулюється завдання космології – дослідження *Всесвіту як цілого*. Йдеться отже про з'ясування найзагальніших («глобальних») властивостей Всесвіту, тоді як властивості окремих його частин цікавлять космологію лише постільки, оскільки вони пов'язані зі структурою та еволюцією Всесвіту як цілого.

При з'ясуванні цієї проблеми доводиться враховувати певну неоднозначність самого поняття Всесвіт. «На різних стадіях дослідження, при різних постановках космологічної проблеми і різних підходах до її вирішення під Всесвітом фактично доводиться розуміти не одне і те ж» (А. С. Кармін, 1979). Історично і логічно вихідне поняття тут – «спостережуваний Всесвіт». Однак від століття до століття горизонт астрономії розширюється. Водночас змінюються й уточнюються уявлення про самі структурні елементи (об'єкти) Всесвіту. По-друге, не можна виключати, що за межею нашого поля зору є такі ж об'єкти, але що там можуть бути і найрізноманітніші інші світи. Що більше, залишається відкритим питання, чи не існує «там», за горизонтом, таких явищ і процесів, до пояснення яких застосувати відомі сьогодні закони не можна. Тим часом ці закони допускають існування світів з іншим «набором» фундаментальних сталих (швидкість світла c , гравітаційна стала G тощо). А тому, спираючись на «принцип Дірака», можна сказати: «все, що не суперечить законам природи, існує десь у світі». Можна повторитися ще раз: чи ж усі закони природи, закони фізики вже відкрито?

Сучасна космологія у поєднанні з фізикою елементарних частинок, накреслюючи картину еволюції нашого Всесвіту від мікроскопічної комірочки і даючи відповіді на цілий ряд питань, водночас сприяє пошуку інших, більш адекватних моделей. Але і теперішній її стан не може не викликати найглибшого здивування й захоплення...

Що ж стосується самого терміна «космологія», то він уперше був вжитий 1731 р. німецьким математиком, філософом, фізиком і психологом Християном Вольфом (1679–1754). У 1754 р. Ж. Д'Аламбер в «Енциклопедії, або Глумачному словнику наук, мистецтв і ремесел» опублікував спеціальну статтю «Космологія», в якій дав таке визначення: «Космологія є наукою про світ, або Всесвіт, що розглядається в загальному, оскільки він є сутністю складною і водночас простою, завдяки єдності та гармонії своїх частин».

Очевидно, доречними тут будуть два зауваження. По-перше, космологія оперує такими поняттями як простір і час, що є фізичними, але і філософськими категоріями. Їх зміст як таких обговорюється в енциклопедіях та філософських словниках. По-друге, саме космологія є тою частиною астрономії, де упродовж століть ведеться «запекла боротьба між матеріалістичним та ідеалістичним світоглядом». На цю тему є декілька зауважень у §§ 3 і 4 Вступу. Тут же доцільно згадати хоча б книгу «Походження світів» (1957) французького астронома Поля Лаберенна і звернути увагу на Додаток до неї під назвою «Пій XII і наука». З цього матеріалу видно, як небезпечно абсолютизувати окреме знання, оскільки воно найчастіше буває неповним: «Одне з положень, які виставляються Пієм XII за доведений наукою факт, проголошує, що всі зорі виникли одночасно декілька мільярдів років тому в певний початковий момент і тепер поступово щезають, перетворюючись у випромінювання і не маючи ніякої надії на відновлення... Спроба папи підтвердити створення світу науково базується на комбінації гіпотез, фальшивість яких кидається в очі...»

Значно продуманішим був виступ папи Івана Павла II перед ученими 7 листопада 1986 р.: «Проникаючи в глибини Всесвіту, з його законами і таємницями, наука веде людину до розуміння рівня її власної величі... Найвище торжество Всесвіту – це вести людину до правдивого сприйняття самої себе, бо вона є відображенням Творця у природі. І в цьому усвідомленні своєї ролі людина йде до знання та визнання слави і величі Бога. Велич Бога, гідність людини, краса і гармонія у Всесвіті – все поєднується у наукових відкриттях...»

§ 1. КОСМОЛОГІЧНІ МОДЕЛІ

Теоретичним фундаментом сучасної космології є розвинута А. Ейнштейном у 1905–1915 рр. загальна теорія відносності. Історики науки зауважують при цьому, що статтю «Проект узагальної теорії відносності» (1913 р.), в якій було чітко сформульовано ідею єдності метрики і гравітації, Ейнштейн опублікував у співавторстві зі швейцарським математиком, товаришем своїх дитячих років Марселем Гроссманом (1878–1936), якому належала її математична частина. В наступному році з'явилася ще одна стаття обох авторів, в якій було вміщено дальший розвиток тих же ідей. Що ж стосується

основного рівняння ЗТВ (фактично це система рівнянь), то воно майже одночасно з Ейнштейном (навіть п'ятьма днями раніше) було отримане німецьким математиком Давидом Гільбертом (1862–1943), який жив у цей час в Геттінгені і з яким Ейнштейн жваво переписувався. Однак ніхто не заперечує ту важливу обставину, що формулювання принципу еквівалентності інертної та гравітаційної маси, а відповідно поля тяжіння і прискореного руху системи відліку, безумовно належить Ейнштейнові. Йдеться, отже, про теорію, фундаментом якої є уявлення про зв'язок речовини з геометрією простору-часу.

Ейнштейнові належить і перша спроба застосування цієї теорії для створення нової картини світу. Варто, однак, зазначити, що думка про необхідність переходу до нових уявлень про властивості простору, зокрема використання для опису його властивостей неевклідової геометрії на початок ХХ ст. вже «завоювала права громадянства». Не випадково, отже, у 1900 р. Карл Шварцшильд на конгресі Німецького астрономічного товариства виголосив спеціальну доповідь про міру кривини простору, заявивши таке: «...можна не вступаючи у суперечність з очевидними фактами уявити Всесвіт замкненим у гіперболічному (псевдосферичному) просторі з радіусом кривини понад 4 000 000 радіусів земної орбіти або в межах скінченного еліптичного простору з радіусом кривини понад 100 000 000 радіусів земної орбіти».

МОДЕЛІ ЕЙНШТЕЙНА І ДЕ СІТТЕРА. Як вже згадано (розд. 21. § 3), космологічні моделі будують, виходячи з принципу *однорідності* та *ізотропності*, тобто приймаючи, що властивості Всесвіту однакові в усіх його точках і напрямках. Побудувати ж модель Всесвіту – значить виявити, як змінюються з часом його параметри – густина, температура, а передусім відстані між довільно взятими матеріальними точками (галактиками).

Стаття Ейнштейна «Космологічні міркування до загальної теорії відносності» вийшла 1917 р. У ній автор зробив спробу, виходячи зі своїх же рівнянь ЗТВ, побудувати модель статичного однорідного Всесвіту, для якого тиск і густина є сталими величинами. Однак Ейнштейн виявив, що при будь-яких $p > 0$ і $\rho > 0$ рівняння ЗТВ несумісні з уявленнями про статичний світ. Тому Ейнштейн доповнив згадані рівняння доданком, в якому співмножником є космологічна стала Λ .

За фізичним змістом – це певна додаткова сила (крім сили тяжіння), при $\Lambda < 0$ – притягання, якщо $\Lambda > 0$ – відштовхування. Приймаючи середню густину речовини у Всесвіті $\rho \approx 10^{-29} \text{ г/см}^3$, Ейнштейн визначив найголовніші параметри «свого» замкнутого Всесвіту: радіус кривини $R \approx 10^{28} \text{ см}$ і масу $\mathfrak{M} \approx 10^{23} \mathfrak{M}_\odot$ (це близько 1 000 млрд. галактик). Світловий промінь описує коло у такій моделі за близько 70 млрд. років. Тут також $\Lambda \approx 10^{-56} \text{ см}^{-2}$.

Через два місяці після публікації статті Ейнштейна у тому ж 1917 р. з'явилася праця нідерландського астронома Віллема де Сігтера (1872–1934), в якій було показано, що рівняння Ейнштейна з Λ -членом допускають ще один розв'язок, а саме $p = 0$ і $\rho = 0$. Йдеться про статичний замкнений (як і в попередньому випадку) Всесвіт. Ця модель має три такі цікаві властивості: 1) «Реальна» швидкість світлового сигналу v_c є тим меншою, чим далі перебуває квант світла від спостерігача, і на відстані $z = R$ маємо $v_c = 0$. Тому від цього *горизонту* до спостерігача, який перебуває в початку координат, (від $z = R$ до $z = 0$) світловий сигнал рухається нескінченно тривалий час, а тому спостерігач ніколи не довідається про те, що робиться за відстанню $z \geq R$. 2) Довжина хвилі λ , зареєстрована спостерігачем у точці $z = 0$, відрізняється від довжини хвилі λ_0 , яку випромінює джерело світла на відстані z , так що при $z \rightarrow R$ $\lambda \rightarrow \infty$. 3) Якщо в таку модель помістити декілька пробних матеріальних частинок, то вони будуть «розбігатися» одна від одної, причому відстань між ними буде зростати за експоненціальним законом.

Беручи до уваги усі згадані тут ефекти, німецький математик Герман Вейль (1885–1955) виявив 1923 р., що з погляду спостерігача довжина хвилі, випроміненої згаданою пробною частинкою, зміщується у червоний бік спектра на величину $\Delta\lambda$, так що $\Delta\lambda/\lambda = kz$. Тут z – відстань від спостерігача до джерела світла, k – стала.

Обидві ці моделі зіграли позитивну роль у розвитку космології. Однак лише з початком 80-х років другу з них було належно осмислено.

МОДЕЛІ ФРІДМАНА. Двома своїми статтями – «Про кривину простору» (1922 р.) і «Про можливість світу зі сталою від'ємною кривиною» (1924 р.), опублікованими в берлінському фізичному журналі, О. О. Фрідман (1888–1925, Росія) започаткував дослідження нестатичних моделей Всесвіту. Познайомившись з першою із цих статей, А. Ейнштейн заявив, нібито викладені в ній результати сумнівні.

Проте отримавши листа від О. О. Фрідмана і переглянувши результати своїх обчислень, Ейнштейн у другій замітці (1923 р.) визнав: «Я вважаю результати пана Фрідмана правильними і вичерпними. Як виявляється, рівняння поля допускають для структури простору поруч зі статичними розв'язками й динамічні (тобто такі, що змінюються з часом) центрально-симетричні розв'язки». У 1931 р., коли теорія динамічного Всесвіту набула дедалі більшого визнання, Ейнштейн так і сказав: «Першим... на цей шлях ступив Фрідман».

Важливим параметром теорії Фрідмана є певна критична густина $\rho_{кр}$, що виражається через сталу Хаббла H : $\rho_{кр} = 3H^2/8\pi G$. З теорії випливає: якщо реальна середня густина речовини ρ у Всесвіті перевищує критичну ($\rho > \rho_{кр}$), то «реалізується» закрита модель Всесвіту, при $\rho = \rho_{кр}$ – відкритий евклідовий простір, якщо ж $\rho < \rho_{кр}$ – відкритий простір Лобачевського.

Як згадано, однією з визначальних характеристик моделі Всесвіту є **масштабний фактор** $R(t)$, яким описується зміна з часом t відстані $R(t)$ між двома довільними галактиками: $z(t) = z_0 R(t)$, де z_0 – згадана відстань на момент спостереження t_0 , тут приймається, що $R(t_0) = 1$. Отже, з теорії Фрідмана випливає, що в першому випадку ця відстань, досягнувши певного найбільшого значення, знову зменшується до нуля. Інакше кажучи, закритий Всесвіт «пульсує». У другому і третьому випадках розширення триває необмежено. Спільним для них є те, що в минулому в цих моделях Фрідмана розширення починається «від нуля» і що воно відбувається зі сповільненням, різним для різних випадків (рис. 5. 7).

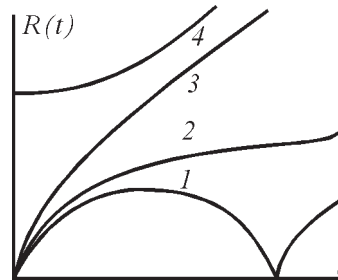


Рис. 5. 7. Найтипівіші космологічні моделі: 1 – пульсуючий Всесвіт, 2 – модель Леметра, 3 – модель Ейнштейна-де Сіттера, 4 – модель Еддінгтона-Леметра.

Відповідь на питання, що виникають при розгляді цієї проблеми, в середині 70-х років виглядала так: «Чи можна говорити про те, що високий тиск є причиною розширення Всесвіту, що дуже стиснена речовина розширюється з тої самої причини, з якої розлітаються гази високого тиску, котрі утворюються під час детонації заряду вибухової речовини? Ні, такий погляд зовсім неправильний. Якісна відмінність полягає в тому, що заряд вибухової речовини оточений

повітрям при атмосферному тиску. Розширення обумовлене різницею між колосальним тиском газів (продуктів вибуху) і порівняно слабким тиском навколишнього повітря. Але коли ми розглядаємо тиск в однорідному Всесвіті, то припускається, що тиск розподілений строго однорідно! Отже, між різними частинками в один і той самий момент немає різниці тиску, відтак немає й сили, котра могла б вплинути на розширення і тим більше бути причиною розширення. Сам факт розширення в наявній теорії – наслідок початкового розподілу швидкостей, причина цього початкового розподілу поки що невідома» (Я. Б. Зельдович, І. Д. Новиков, 1975).

У розв'язках Фрідмана параметр Λ входить у трьох можливих варіантах $\Lambda \geq 0$. Варте уваги, що після фундаментальних досліджень Хаббла А. Ейнштейн, переконавшись у тому, що Всесвіт справді розширюється, а отже, що його властивості слід описувати нестатичною моделлю, запровадження сталої Λ до своїх рівнянь назвав «найбільшою помилкою свого життя», «чистим свавіллям». Бо, мовляв, для її введення немає «ні логічних, ні фізичних доказів», щоправда додаючи, що відмова від Λ оправдана лише «до тої пори, доки для цього введення не з'являться дослідні підстави». Фактично ж параметр Λ входить в рівняння Ейнштейна на правах сталої інтегрування, і якраз рівність $\Lambda = 0$ потребує доведення на підставі даних спостережень.

Незайвим, напевне, буде і таке зауваження. Очевидно, будуючи в 1917 р. згадану модель Всесвіту, Ейнштейн вбачав саме в статичності світу підтвердження відомого *принципу Маха* – обумовленість інерційного руху та інертної маси окремого тіла дією «неба нерухомих зір». Тому він писав так: «Взагалі з гносеологічної точки зору більш задовільним є той випадок, коли механічні властивості простору визначаються матерією; це відбувається лише за умови, що світ є просторово замкненим». Однак вже від праць де Сіттера з'ясовано, що принцип Маха і ЗТВ є логічно незалежними.

ОКРЕМІ МОДИФІКАЦІЇ МОДЕЛЕЙ. Услід за Фрідманом нестатичну модель Всесвіту розглянув бельгійський астроном Жорж Леметр (1894–1966). Невідомо, чи був він знайомий з працями О. О. Фрідмана. Протягом декількох років Леметр займався аналізом моделі де Сіттера, зокрема проблемою червоного зміщення. У своїй статті (1927 р.) Леметр пише так: «Бажання відшукати розв'язки, які мали

б одночасно позитивні риси світів Ейнштейна і де Сіттера, doprowadило нас до аналізу світу Ейнштейна зі змінним радіусом простору». Сама стаття мала характерну назву: «Однорідний Всесвіт зі сталою масою і зростаючим радіусом, що пояснює радіальні швидкості позагалактичних туманностей».

У моделі Леметра космологічна стала Λ дещо більша введеної Ейнштейном для забезпечення статичності Всесвіту $\Lambda_E = 4\pi G\rho/c^2$. Тому в цій моделі масштабний фактор $R(t)$ зростає від нуля нескінченно, але протягом деякого часу Δt_0 його значення змінюється дуже мало: Всесвіт на цей проміжок часу наче «застигає» (див. рис. 5.7). Зокрема, коли $\frac{\Lambda - \Lambda_E}{\Lambda_E} = 2 \cdot 10^{-5}$, то тривалість «затримки» – близько 50 млрд. років (тоді сили притягання зрівноважуються силами відштовхування).

У 1932 р. була побудована модель *Ейнштейна–де Сіттера*, для якої $\rho = \rho_{кр}$ і $\Lambda = 0$. Тут, у цій моделі, стала Хаббла мала б зменшуватися обернено пропорційно часу, що минув від початку розширення, а тривалість цього розширення $t_0 = 2/3 t_H$.

В цьому ж році А. Еддінгтон і Ж. Леметр запропонували модель, в якій $\rho > \rho_{кр}$, а $\Lambda = \Lambda_E$. У цій *моделі Еддінгтона–Леметра* в нескінченно далекому минулому, при $t = -\infty$, масштабний фактор дорівнює певному значенню R_E , а в майбутньому необмежено зростає. За тих самих значень ρ і Λ можливе ще й таке: в момент часу $t = 0$ $R(0) = 0$, далі масштабний фактор зростає і в нескінченно далекому майбутньому ($t = +\infty$) досягає значення $R = R_E$. За наявності сил відштовхування ($\Lambda > 0$) рівняння Ейнштейна допускають ще один розв'язок: у минулому (при $t = -\infty$) радіус Всесвіту мав нескінченно велике значення, згодом настало стискування до якогось найменшого R_{min} , після чого стиск змінився розширенням.

В середині 30-х років Едуард Мілн, розробивши концепцію «кінематичної теорії відносності» (на протипагу ЗТВ), запропонував модель Всесвіту, в якій явище розбігання галактик пояснювалося в рамках ньютонівської теорії тяжіння. І, нарешті, у 1948 р. англійські астрофізики Г. Бонді і Т. Голд та незалежно Ф. Хойл запропонували *модель стаціонарного Всесвіту*, в якій, незважаючи на зростання масштабного фактора за експоненціальним законом (як і в моделі де Сіттера), густина ρ залишається незмінною. Це забезпечується

за рахунок неперервного творіння речовини з деякого енергетичного поля. Такі уявлення підтримав Уїльям Мак-Крі (Англія). Забігаючи вперед, зазначимо, що з 80-х років модель з експоненціальним зростанням масштабного фактора використовують для опису ранньої стадії еволюції Всесвіту – сценарію його «роздування» (§ 3).

Що ж стосується теорії стаціонарного Всесвіту, то сам її творець, Ф. Хойл (який обґрунтував її математично) в середині 60-х років відмовився від неї. Хоча йшлося про «мікроскопічний» ефект – про «появу» двох атомів водню в 1 м^3 за кожний мільярд років, що означало б, зокрема, збільшення маси Землі на 4 г за 5 млрд. років. Тим часом відкриття реліктового випромінювання у 1965 р. стало переконливим доказом того, що розширення Всесвіту «від нуля» таки справді відбулося.

НЕЛЕГКА ПРОБЛЕМА ВИБОРУ. Формально теорія допускає («пропонує») близько 20 різних моделей Всесвіту. Природа ж «реалізувала» лише одну з них (принаймні в досяжних для спостережень околицях). І вже в 30-х роках постала необхідність вибору – яку? Відгомін бурхливої полеміки, що розгорілася тоді, прокотився і через 40-ві, і 50-ті роки. Хоча для більшості астрономів сам факт червоного зміщення у спектрах галактик був переконливим свідченням того, що реалізується одна з моделей Фрідмана, в якій при $t = 0$ масштабний фактор $R(t) = 0$. На це зразу ж, у 1930 р. звернули увагу А. Еддінгтон і В. де Сіттер. Навіть свою книгу (1933 р.) Еддінгтон так і назвав – «Розширний всесвіт». Залишалася проблема вибору – «з космологічною сталою $\Lambda = 0$ чи з $\Lambda \neq 0$?».

У першому випадку тривалість розширення – «вік Всесвіту, якщо воно відбувається без сповільнення, $t_0 = t_H$, в інших моделях цей вік є меншим, аж до $t_0 \cong 1/2 t_H$. У 30-ті роки, коли приймалося, що $H = 500 \text{ км/с/Мпк}$, із залежності Хаббла впливало $t_H = 1/H \approx 2$ млрд. років. Тим часом вік найдавніших гірських порід на Землі, за даними радіоактивного методу, мав би сягати 3 млрд. років.

Еддінгтон писав: «Теорія Всесвіту, який «розтягується», є в деяких відношеннях настільки безглуздою, ще ми, звичайно, боїмося себе нею скомпрометувати. Вона містить елементи, апіорі настільки незрозумілі, що віра в неї з чийого-завгодно боку мене могла б майже обурити, якби лише я сам в цю теорію не вірив...»

Певна частина астрономів і фізиків зразу ж розпочала пошук інших механізмів, за допомогою яких можна б пояснити факт червоного зміщення. Так, А. А. Белопольський у 1929 р. припустив, що частота (а отже, і енергія) фотонів зменшується в міру їхнього руху в просторі, так що зміна частоти пропорційна пройденій відстані.

Гіпотезу «старіння фотонів» у 1938–1940 рр., покладаючи існування певної «гравітаційної самоіндукції», намагався обґрунтувати київський астроном О. Ф. Богородський (1907–1984). У 60-х роках такі ж спроби зроблені рядом фізиків, зокрема Луї де Бройлем, у припущенні, що втрати енергії фотонами мали б відбуватися не безперервно, а порціями у формі гравітонів. Слабким місцем гіпотези «старіння квантів» залишалося питання, чому відношення $\Delta\lambda/\lambda$ є однаковим по всьому спектру аж до радіодіапазону (це останнє встановлено пізніше).

Тому логічною і цілком прийнятною у цій ситуації була модель Леметра: завдяки наявності певної сили відштовхування тривалість розширення могла бути на порядок більшою від хабблівського часу t_H . Що ж стосується питання про речовину, з якої згодом сформувалися галактики, то, за Леметром, вона спочатку перебувала у надщільному стані як гігантський «першоатом». За його словами, «еволюція звершується... не від розсіяного до щільного. Найімовірніше, світ походить не з первісної туманності, а найскоріше зі своєрідного першоатома, продукти розпаду якого утворюють сучасний світ... Атом-Всесвіт розвалився на фрагменти, кожен фрагмент – на все дрібніші уламки».

Після перегляду (1952 р.) шкали міжгалактичних відстаней потреба в моделі з $\Lambda \neq 0$, якою описувалося б розширення Всесвіту на спостережуваному етапі його еволюції, відпала.

МОДЕЛЬ ГАРЯЧОГО ВСЕСВІТУ. Формально з теорії Фрідмана випливає, що в момент $t = 0$ густина ρ і температура T сягають нескінченно великих значень. Цей стан було названо *сингулярністю*. Його осмислення Леметром було дуже загальним.

Наступну спробу з'ясувати властивості речовини в таких екстремальних умовах здійснено зразу ж після відкриття нейтрона. Покладалося, що (на противагу теорії Леметра) вся речовина Всесвіту складається з холодних нейтронів, що протон, який з'явився після розпаду нейтрона, взаємодіє з іншим нейтроном, утворюючи

дейтерій, а далі – гелій. Ця гіпотеза, однак, зустрілася з непереборними труднощами, оскільки у гелій мала б перетворитися вся речовина. Складніші ж атомні ядра у такому Всесвіті взагалі утворюватися не можуть. У 1962 р. інший варіант холодної речовини – суміші протонів, електронів і нейтрино – проаналізував Я. Б. Зельдович. Однак дуже швидко після цього вже було знайдено переконливі докази правильності моделі саме гарячого Всесвіту.

Модель гарячого Всесвіту як таку запропонував у 1946 р. Дж. Гамов. У 1948–1953 рр. з'явилося декілька статей як самого Гамова, так і в співавторстві з фізиками Р. Альфером, Г. Бете і Р. Германом. Завдання, яке ставили перед собою ці автори, – поєднати факт космологічного розширення з перебігом ядерних реакцій в гарячій речовині і зіставити результат з даними спостережень про розподіл хімічних елементів у Сонячній системі та в атмосферах зір.

Оскільки утворення вуглецю і складніших елементів, як з'ясувалося, вимагає специфічних умов, то дещо раніше С. Чандрасекар і П. Хенріх розглянули стан речовини з густиною $\rho \geq 10^7 \text{ г/см}^3$ (аж до ядерної) і $T \approx 10^{10} \dots 10^{11} \text{ К}$, у цьому випадку після охолодження залишалася деяка кількість важких ядер. Однак Гамов звернув увагу на те, що така рівноважна теорія утворення елементів стикається з серйозними труднощами: ядра важких елементів не консервуються при повільному зменшенні температури, а розвалюються на легші. Щоб вони збереглися, зміна густини і температури повинна відбуватися досить різко. Оскільки і в 40-х роках вік Всесвіту все ще приймався сумірним з віком Галактики (2–4 млрд. років), то для Гамова здавалася єдиною прийнятною теза, за якою усі хімічні елементи утворилися на ранній, дозорній стадії розширення Всесвіту.

Початковою субстанцією, з якої, за уявленням Гамова та ін. формувалися хімічні елементи, був *ілем* (так Аристотель назвав «найголовнішу субстанцію Всесвіту») – сильно стиснутий нейтронний газ. При розширенні Всесвіту і зменшенні тиску нейтрони мали б розпадатися ($n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$). Далі – утворювалися дейтрони, ядра гелію і наступних елементів. Однак і тут згаданих вище труднощів не вдавалося позбутися. Бар'єром до утворення важчих за гелій елементів є те, що в природі немає стійких ядер з масами 5 і 8. Ядро гелію не може захоплювати ні протон, ні нейтрон, бо ні ${}^5\text{He}$, ні ${}^5\text{Li}$ не існують, ядро ж ${}^8\text{Be}$ розвалюється менш ніж за 10^{-8} с, і для

подолання цього бар'єру необхідно одномиттєве зіткнення трьох частинок, що на відповідному цим реакціям етапі розширення Всесвіту неможливе. Лише, як це виявили Р. Альфер і Р. Херман, до моменту закінчення ядерних реакцій (через 200 с після початку розширення) утворюється близько 20% (за масою) атомів гелію і близько 0,6% дейтерію. Невдовзі, у 1950 р., К. Хайяші, а також Е. Фермі та А. Туркевич уточнили це число: на дозорній стадії синтезується близько 30% гелію, тоді як у надрах зір за час існування Галактики – у 20 разів менше. Як вже згадано (розд. 19), теорію синтезу елементів у надрах зір упродовж багатьох років розробляли У. Фаулер, Ф. Хойл, А. Дж. Камерон та інші.

З теорії Гамова випливав важливий висновок: від епохи, коли температура речовини була дуже високою, у Всесвіті мало б залишитися космічне (інакше – фонове) мікрохвильове випромінювання, яке Й. С. Шкловський після його відкриття назвав *реліктовим*. Перші оцінки відповідної йому температури були дещо неозначені: 1...30 К. У 1953 р. Гамов вказав точніше значення – 6 К.

У 1941 р. вже згаданий канадський астроном Е. Мак-Келлар зауважив, що молекула CN у міжзоряному газі спостерігається не лише в основному, а й у збудженому обертальному стані, що відповідало температурі збудження близько 2,3 К. До цього висновку Мак-Келлар дійшов, досліджуючи лінії поглинання міжзоряного газу у спектрі зорі ζ Змієносця. І лише після відкриття реліктового випромінювання, у 1966 р., П. Тадеуш і Дж. Клаузер з'ясували, що саме воно збуджує міжзоряні молекули. Невдовзі цей ефект виявлено в спектрах багатьох десятків інших зір.

Як згодом стало відомо, в середині 50-х років у Пулкові Т. А. Шмаонов під керівництвом С. Є. Хайкіна і М. Л. Кайдановського за допомогою рупорної антени зареєстрував на довжині хвилі 32 см певне космічне випромінювання. Повідомлення про це опубліковане в 1957 р. у формі: «Як виявилось, абсолютна величина ефективної температури фону... дорівнює 4 ± 3 К». Навіть було зазначено, що інтенсивність випромінювання не залежить ні від напрямку, ні від часу. Однак ні сам Шмаонов, ні його керівники нічого не знали про модель Гамова і не надали значення цим вимірам!

Весною 1964 р. А. Г. Дорошкевич та І. Д. Новиков у «Докладах АН ССРСР» опублікували обчислений ними розподіл енергії в

широкому діапазоні довжин хвиль, чітко вказавши, що на відміну від сумарного ефекту багатьох відомих об'єктів реліктове випромінювання зосереджується в ділянці сантиметрових і міліметрових радіохвиль. Що більше, автори навіть згадали рупорний радіотелескоп лабораторії «Белл» як найпридатніший для виявлення цього випромінювання. Стаття невдовзі у цьому ж році з'явилася закордоном англійською мовою. І – залишилася невідомою для тих, хто власне зробив відкриття.

Р. Вілсон і А. Пензіас використали антену, яка 1960 р. була збудована для прийому радіосигналів, відбитих від супутника «Ехо». З найчутливішим на той час приймальним пристроєм вони проводили на довжині хвилі 7,35 см дослідження міжзоряного середовища Галактики. Про можливе існування фонового випромінювання вони нічого не знали. Зовсім випадково про зареєстроване ними випромінювання Пензіас згадав своєму приятелю Б. Берке. Цей же знав, що в Принстонському університеті ціла група учених під керівництвом Р. Дікке розробляє теорію гарячого Всесвіту (не знаючи нічого про роботи Гамова!) і планує будувати радіотелескоп для відповідного пошуку. Пензіас подзвонив Дікке, обидві групи зустрілися, наслідком цього і стали дві статті, теоретична та експериментальна, що були опубліковані влітку 1965 р. Невдовзі фонове радіовипромінювання різними колективами було зареєстроване і в інших довжинах хвиль.

Загальний аналіз усіх аспектів моделі гарячого Всесвіту дав Я. Б. Зельдовичу змогу сказати в 1983 р.: «Теорія Великого вибуху тепер не має хоч скільки-небудь помітних недоліків. Я б навіть сказав, що вона так же надійно встановлена і правильна, як правильним є те, що Земля обертається навколо Сонця».

§ 2. КОСМОЛОГІЯ: ПРОБЛЕМИ 70-Х РОКІВ

Як зауважив Фред Хойл, «Всесвіт – це виклик усім нам». Роздумуючи над невідворотністю цього факту, услід за Полем Девісом (1989 р.) мусимо визнати, що «природа надто невловима і складна, і ми можемо лише вічно ковзати поверх реальності, яка простягається над безмежною безоднею істини. Ми можемо надіятися лише відчутти прояв деяких принципів, що керують космосом, і здивуватися з їхньої краси. Наш кругозір надто обмежений, щоб проникнути

в суть так глибоких проблем, як смисл і мета існування Всесвіту». Не дивно, що багато дехто заявить услід за Ервіном Шредінгером: «Я не знаю, звідки я прийшов, куди йду і навіть хто я такий». І – хочемо цього чи ні, в тому, що стосується певного проникнення в цю реальність, нам доводиться здаватися на можливості небагатьох, як про це Хаббл від себе й від імені Х'юмасона у 1931 р. писав де Сіттеру: «Ми відчуваємо, ще інтерпретацію слід залишати Вам і ще дуже небагатьом, хто компетентний авторитетно обговорювати предмет».

Цілу низку питань, не з'ясованих буквально з часу виявлення «залежності Хаббла», можна умовно назвати проблемами 70-х років. Бо і в цьому десятилітті пошук відповідей продовжувався. Зокрема, це стосується середньої густини речовини у Всесвіті, а тим самим вибору моделі (в розумінні встановлення подальшої зміни з часом масштабного фактора) тощо.

СЕРЕДНЯ ГУСТИНА РЕЧОВИНИ. Як зазначено вище, тип космологічної моделі визначається співвідношенням між величиною середньої густини речовини у Всесвіті $\bar{\rho}$ та її критичним значенням $\rho_{кр}$. При $H = 50$ км/с/Мпк $\rho_{кр} = 5 \cdot 10^{-30}$ г/см³. Аналіз цієї проблеми здійснив П. Піблс (1975), який зразу ж підкреслив, що «нема жодних гарантій того, що переважаючий внесок у густину дають ті форми матерії, які ми вже спостерігаємо».

«Найочевиднішою» формою існування речовини у Всесвіті є галактики, які об'єднуються у скупчення. Неодноразові, до кінця 70-х років, визначення середньої густини речовини, сконденсованої у формі галактик, привели до висновку, що $\rho_{ГАЛ}^- \approx 10^{-32}$ г/см³, $\Omega_{ГАЛ} = \rho/\rho_{кр} \approx 0,02 \ll 1$ (при $H = 50$ км/с/Мпк). Як вже згадано, тут на основі теореми про віріал зроблено висновок, що в скупченнях галактик основна частина маси перебуває у «прихованому» стані. Ця проблема залишалася актуальною і в 80-х роках і про неї ще піде мова в § 3.

Неодноразово було здійснено спроби виявити міжгалактичний газ, насамперед – міжгалактичний водень. Спостереження на довжині хвилі 21 см привели до висновку, що нейтрального водню у скупченнях галактик практично немає, точніше тут $\Omega_H \approx 0,0001$. До кінця 70-х років у спектрах квазарів практично не було зауважено лінії поглинання L_α , появу якої можна було б пов'язати з наявністю на

шляху променя нейтрального водню. Тому зроблено висновок, що концентрація такого газу тут дуже мала, так що $\Omega_{\text{H}} \lesssim 2 \cdot 10^{-7}$.

З інших міркувань випливає, що насправді концентрація речовини у міжгалактичному середовищі є значно більшою і що, отже, газ там перебуває головним чином в іонізованому стані. Підтвердженням сказаного стало відкриття в 1962 р. ізотропного рентгенівського, а згодом і ультрафіолетового випромінювання, яке й пов'язують з висвічуванням водневої плазми, нагрітої до температури близько 1 млн. К. За обрахунками, густина такого газу може бути сумірною з $\rho_{\text{кр}}$. Точніше, теорія дає $\Omega_{\text{ГАЗ}} \approx 0,6$, коли вміст водню і гелію в міжгалактичному середовищі становить відповідно 70% і 30%. За словами Я. Оорта, галактики наче «плавають» у середовищі міжгалактичного гарячого газу. Оорт подав також деякі докази того, що у формі галактик перебуває усього $1/15$ частина газу Всесвіту. Оцінки ж концентрації речовини у формі космічних променів дали $\Omega_{\text{к.пр.}} \approx 0,01$. Щодо нейтрино теорія допускає набагато більшу їх масу, навіть до $\Omega_{\nu} \gg 1$).

Підсумовуючи всі зусилля, здійснені на кінець 60-х років, Піблс визнав: «Наївно було б думати, що середню густину речовини у Всесвіті можна оцінити на основі одного компонента, котрий піддається детальному вивченню, – галактик, навіть коли ми досягнемо сутність цих об'єктів, але, з іншого боку, так само нерозумно було б робити висновок про безнадійність спроб визначити $\bar{\rho}$ ». Бо «немає причин вважати, що наша винахідливість уже вичерпана».

Ери «СТАНДАРТНОЇ МОДЕЛІ». Відкриття у 1965 р. реліктового радіовипромінювання (РВ) стало беззаперечним підтвердженням гарячої моделі Всесвіту. Рівноважний спектр РВ з температурою $T \approx 2,7$ К дає інтегральну густину РВ $\epsilon_{\text{РВ}} \approx 4 \cdot 10^{-20}$ Дж/см³, що майже в 100 разів перевищує інтегральну густину випромінювання усіх відомих джерел (зір, галактик, радіогалактик і квазарів) з урахуванням їх еволюції в минулому. При середній густині речовини у Всесвіті (за даними Оорта) $\bar{\rho} \approx 3 \cdot 10^{-31}$ г/см³ на один баріон (протон чи нейтрон, вільний або зв'язаний у ядрі) припадає близько $2 \cdot 10^9$ фотонів: $\mathcal{N}/V \approx 2 \cdot 10^9$). Саме беручи до уваги особливості спектрального розподілу та ізотропність РВ, Я. Б. Зельдович та І. Д. Новиков (1975) зробили висновок, що теорія гарячого Всесвіту як «теорія велетенського етапу еволюції Всесвіту в наш час встановлена остаточно. Вирішальним

аргументом є існування і властивості РВ. Ті уточнення, які можуть ще бути (оскільки точність усіх здійснених вимірів не абсолютна), не змінять основного висновку про гарячий Всесвіт, а дадуть інформацію про деталі процесів, що перебігали в минулому... сказане не слід розглядати як догматизм. В рамках теорії гарячого Всесвіту залишається ще багато нез'ясованих питань...»

Вивчаючи еволюцію речовини на окремих етапах розробленої у ті роки «стандартної моделі» Всесвіту, лічбу часу (нуль-пункт якої суміщено зі станом сингулярності) розпочинали від $t_{\min} = 10^{-6}$ с. Брали до уваги те, що за допомогою наявних тоді теорій було неможливо описати явища, які відбувалися при $t < t_{\min}$, тобто коли густина речовини істотно перевищувала густину атомного ядра. Всю ж подальшу історію розвитку Всесвіту поділяли на чотири стадії: адронну еру, лептонну еру, еру фотонної плазми та післярекомбінаційну еру.

1. **Адронна ера** ($t_{\min} < t < 10^{-4}$ с) – ера важких частинок і мезонів. Тут густина $\rho \gtrsim 10^{14}$ г/см³ і температура $T \gtrsim 10^{12}$ К, її особливістю є співіснування частинок та античастинок, причому їх кількість мала б бути рівною кількості фотонів. Згодом у процесі розширення Всесвіту відбулася анігіляція важких частинок та відповідних їм античастинок. Оскільки, однак, повної зарядової симетрії не було, то виникла зарядова асиметрія. Я. Б. Зельдович та Г. Д. Новиков тоді (1975) писали про це так: «Той невеликий надвишок нуклонів задається як початкова умова для того, щоб після розширення плазми, її охолодження й анігіляції пар дати спостережувану сьогодні картину Всесвіту з реліктовим радіовипромінюванням».

2. **Лептонна ера** тривала від 10^{-4} с до $t \approx 10$ с, тоді температура зменшилася від 10^{12} К до $5 \cdot 10^9$ К, а густина – від 10^{14} до 10^4 г/см³. Як показав аналіз, при $t \lesssim 0,01$ с в речовині відбуваються неперервні перетворення нейтронів на протони і навпаки за схемою $n + e^+ \leftrightarrow p + \bar{\nu}$, $n + \nu \leftrightarrow p + e^-$. З пониженням же температури перебіг цих процесів істотно сповільнюється. Ефективнішими стають процеси з'єднання нейтронів з протонами з утворенням дейтонів D : $n + p \rightarrow D + \gamma$ і далі реакції до утворення гелію. З аналізу випливає, що через 100 с від початку розширення утворюється (за масою) 25% гелію ($Y = 0,25$), останні ж 75% залишаються у вигляді водню ($X = 0,75$). Результати обчислень практично не залежать від

прийнятої густини речовини у Всесвіті (розглядалися випадки від $\Omega = 0,025$ до $\Omega = 5$).

Передбачення вмісту гелію у первинній речовині визнано тріумфом теорії гарячого Всесвіту. Легко обчислюється, що за час існування Галактики (10 млрд. років) при сучасній її світності у ній могло б, у надрах зір, утворитися $7 \cdot 10^{42}$ г гелію, і відношення He/H сьогодні було б близько $1/57$ ($Y \approx 0,017$) за масою. Є ж гелію у природі майже у 20 разів більше.

Вміст гелію в атмосфері Сонця спектральними методами встановити неможливо, у сонячному ж вітрі $Y \approx 0,20$. Ще менше його виявлено у спектрах деяких квазарів, наприклад 3C 273 (в 10 разів менше, ніж випливає з теорії гарячого Всесвіту). Однак незаперечним є високий вміст гелію в більшості взаємно дуже віддалених об'єктів.

Щоправда, і обчислення є неоднозначними. Так, якби у «первісній» речовині Всесвіту існував надвишок антинейтрино, то сьогоднішній вміст гелію становив би і 100%. І навпаки, істотний надвишок нейтрино приводить до того, що гелій взагалі утворюватися не може.

Своєрідним тестом на вибір моделі Всесвіту певною мірою є також дейтерій. Як свідчать обрахунки, вміст «реліктового» дейтерію у Всесвіті істотно залежить від густини речовини у ньому (від співвідношення $\Omega = \rho/\rho_{\text{кр}}$). Якби сучасна густина речовини становила 10^{-32} г/см³, то дейтерію мало б бути близько 1%, при 10^{-29} г/см³ його було б менше від 10^{-10} %. Дані спостережень (в атмосферах зір ваговий вміст дейтерію 0,005%) найлегше сумістити з теорією в припущенні, що тепер $\bar{\rho} \approx 3 \cdot 10^{-31}$ г/см³, тобто $\bar{\rho} \approx 0,1 \rho_{\text{кр}}$, а отже Всесвіт мав би бути незамкненим.

У 1994 р. певну стурбованість спричинило виявлення за допомогою 10-метрового телескопа Кека у спектрі квазара Q0014+813 (червоне зміщення $z = 3,41$) вмісту дейтерію близько $2,5 \cdot 10^{-4}$. Це мало б підтверджувати відкриту модель Всесвіту. Однак все ще не відкинуто теорію, за якою дейтерій може утворюватися під час проходження напіврелятивістських альфа-частинок через іонізований водень. Такі умови можуть виникати при спалахах нових і наднових зір. Якщо це так, то більший чи менший вміст дейтерію не мав би ніякого стосунку до типу космологічної моделі нашого Всесвіту! Але він міг би бути прикладом труднощів, з якими стикається космолог в намаганні побудувати адекватну модель Всесвіту.

При $t \approx 0,2 c$ взаємодія нейтрино з іншими частинками та між собою припиняється.

3. **Ера фотонної плазми** тривала від $t \approx 10 c$ до $10^{13} c \approx 1$ млн. років, за цей час густина зменшується від 10^4 до 10^{-21} г/см^3 , температура – від 10^{10} до 3000 К. На її початку закінчується синтез гелію і деякий час ще тривають процеси анігіляції позитронів з електронами. Нарешті при $T \approx 3000$ К кванти випромінювання вже нездатні іонізувати атоми водню, і тому процеси рекомбінації електронів з протонами переважають. Настає «відрив» випромінювання від речовини. З цього моменту головну роль у розширенні Всесвіту починає відігравати речовина.

4. **Післярекомбінаційна ера** розпочалася з моменту рекомбінації і триває дотепер. Температура зменшується як z^{-2} і в наш час мала б становити усього 0,01 К. В певний момент цієї стадії розпочалося формування галактик і зір.

ПРОБЛЕМА ФОРМУВАННЯ ГАЛАКТИК. Наявність космічних структур – галактик та їх скупчень – вказує на те, що певні відхилення від однорідності та ізотропії повинні були існувати принаймні в епоху, коли густина речовини у Всесвіті стала меншою від ядерної. Як показує аналіз, в ізотропному Всесвіті малі збурення густини і макроскопічної швидкості середовища можуть бути *потенціальні* та *вихорові*, в окремих випадках ефективними можуть бути *ентронійні* збурення густини плазми на незбуреному фоні випромінювання. Детальний аналіз цих питань є в книгах Я. Б. Зельдовича і Г. Д. Новикова (1975) та Л. Е. Гуревича і А. Д. Черніна (1978). На підставі цих матеріалів тут подано лише короткі висновки.

Проблему формування небесних тіл із однорідної речовини (а таким виглядає загальний стан Всесвіту наприкінці ери фотонної плазми) сформулював ще І. Ньютон у 1692 р. в листі до Річарда Бантлі, ректора Триніті Коледжа в Кембриджі: «Мені здається..., якби... речовина була рівномірно розподілена по нескінченному просторі, то... якась її частина згущувалася б в одну масу, інша – в іншу... Але яким чином речовина могла б розділитися на дві частини і та, що придатна на це, злилася у світле тіло, тоді як інша залишилася темною... – це вже, на мій погляд, неможливо пояснити одними лише природними причинами і я повинен приписати це думці і дії сповненого волею Творця».

Як знаємо, у ХХ ст. розкрито умови, за яких зоря стає саме зорею, за яких відбувається виділення енергії в надрах зір (зокрема Сонця), що для Ньютона було загадкою. Певною мірою вже з'ясовано і механізм формування небесних тіл з однорідно розподіленої речовини, про який говорить Ньютон, – це гравітаційна нестійкість. Її масштаб довжини (а отже, і маси) виявив у 1902 р. Дж. Джинс. У космологічній моделі Фрідмана це ж питання у 1946 р. проаналізував Є. М. Ліфшиць (1915–1987, СРСР).

Далі зачитуємо Л. Е. Гуревича та А. Д. Черніна (1978, с. 186): «Значно менше ясності в тому, що стосується природи збурень, які відіграють роль «затравок» для гравітаційної нестійкості. Це питання зовсім іншого роду (Ньютон, напевне, відніс би його до категорії трансцендентних), для відповіді на яке вимагається як мінімум побудова послідовної квантової теорії гравітаційних явищ поблизу космологічної сингулярності. Ми не знаємо, чи були збурення малими «від початку», тобто у всі більш ранні часи до епохи рекомбінації, або, можливо, Всесвіт на початку свого існування мав сильну анізотропію, а збурення в епоху рекомбінації були залишками цієї анізотропії, що затухала на ранніх фазах космологічного розширення. Ми не можемо «вивести» характеристики збурень з перших принципів фізики і тому змушені висловлювати ті чи інші гіпотези відносно їх типу, рівня їхньої амплітуди, залежність її від масштабу (тобто спектра збурень) і т. д.

Характер можливих збурень значною мірою визначає всю подальшу картину формування космічних структур. Якщо, наприклад, збурення в епоху рекомбінації обумовлені сумісними рухами плазми і випромінювання, що існували в більш ранні епохи, то утворення структур неминуче розпочинається з найбільшої одиниці – скупчення галактик... Якщо ж допускаються і ентропійні збурення, то цей процес... міг би розпочатися як зі скупчень галактик, так і з кулястих скупчень зір...»

Є підстави стверджувати, що на активній фазі космогонічного процесу вирішальну роль зіграли сильні гідродинамічні рухи – ударні хвилі, тангенціальні розриви тощо. Зокрема, Я. Б. Зельдович у 1970 р. висловив гіпотезу, за якою саме великомасштабні ударні хвилі дали поштовх до відособлення найбільших газових мас – протогрупі протоскупчень галактик, які згодом розвалилися на менші фрагменти.

За сценарієм А. Г. Дорошкевича, Я. Б. Зельдовича і І. Д. Новикова (1967 р.), у початковому стані Всесвіту були збурення ентропійного типу, внаслідок чого після рекомбінації виникали надмасивні «празорі» з масою до $10^5 \dots 10^6 M_{\odot}$. Такі зорі дуже швидко еволюціонували і, зазнаючи ядерних вибухів, розігрівали навколишній газ до температур $\sim 10^6$ К. Потужні ударні хвилі, що виникали при цьому, ущільнювали речовину, яка набирала форму дисків – «млинців» за висловом Я. Б. Зельдовича. Далі спрацьовував критерій гравітаційної нестійкості Джинса, який призводив до їх розпаду на окремі галактики.

Одним з питань, що виникають при розгляді формування спіральних галактик внаслідок гравітаційної конденсації розрідженого середовища, є питання про їхнє обертання. Дж. Джинс у 1929 р. покладав, що кутовий момент спіральних галактик був спочатку розпорошений у цьому середовищі у формі невпорядкованих потоків або рухів окремих газових мас. У 1951 р. К. фон Вейцекер і незалежно Дж. Гамов уявляли галактики як своєрідні «заморожені вихори», які виділяються з неперервного середовища внаслідок існування догалактичної турбулентності, сукупність вихорів нібито здатна придушити регулярне космологічне розширення в окремих ділянках середовища і тим самим виділити відповідні газові маси. «Вморожені» у ці маси вихори забезпечують як власні рухи згущень-протогалактик, так і їх обертання.

З цього приводу, однак, Л. Е. Гуревич та А. Д. Чернін зауважили: «Вихорові рухи в епоху відокремлення протогалактик повинні мати швидкості, що перевищують швидкість звуку в середовищі, і в цьому сенсі догалактична турбулентність повинна бути надзвуковою. У гідродинаміці такий стан середовища залишається невивченим; наскільки відомо, у ній не було цього і самого поняття надзвукової турбулентності (яке, зрештою, дотепер залишається визначеним не дуже чітко)... Теоретичний аналіз наштовхується тут на серйозні, дотепер не подолані труднощі. Намічена у свій час Вейцекером програма дослідження окремих ключових питань (як ось поширення нестационарного розриву, взаємодія сильних розривів тощо) залишилася невиконаною... Проблема походження догалактичних вихорів не входила в цю програму. Допускалося, що вихори існують у Всесвіті одвічно і мають ту ж природу, що й загальне регулярне розширення середовища (Гамов, 1952)». На думку ж згаданих авторів, «вихори,

що дали початок обертанню галактик, справді існували в епоху формування зоряних систем, але не були одвічними, а виникли незадовго до того у надзвукових рухах міжгалактичного середовища».

Ця серйозна проблема все ще чекає свого належного аналізу. Тут ще можна навести слова В. Г. Горбацького (1986): «Крім вказаних видів збурень густини можливі цілком інші за своїм характером збурення – зміни метрики. Вони згодом перетворюються або в гравітаційні хвилі, або (при скалярних збуреннях) у збурення густини... В концепції, що приписує утворення галактик і скупчень розвиткові збурень, які виникли на дорекомбінаційній стадії, крім неозначеності у виборі типу і спектра збурень, багато нез'ясованих проблем – зокрема, про причини збурень та їх амплітуду... Дані спостережень ще цілком недостатні для належної перевірки запропонованих гіпотез про ранні стадії еволюції Всесвіту...» З другого ж боку, як відмітив на Іллінойському симпозіумі у 1982 р. Уільям Прес, «серед космологів і спеціалістів з фізики елементарних частинок все більше укріплюється переконання, що в космологічну епоху Теорій Великого Об'єднання... виникли придатні умови для появи космологічних збурень, з яких вже значно пізніше утворилися галактики...» Це, однак, вже «сценарій 80-х років». Однак, забігаючи вперед, зачитуємо згаданого автора ще раз, оскільки різні автори і тут «надто часто отримували розв'язки, які розвінчувалися так же швидко, як і заявлялися» (Дж. Сентрел та ін., 1988, с. 239).

ПРОБЛЕМИ СЕТІ і SETI. Тут, принаймні у декількох словах, не можна не згадати проблему пошуку космічних цивілізацій – SETI (*Search of Extraterrestrial Intelligence*), яка раніше звучала надто оптимістичніше «зв'язок з позаземним розумом» – СЕТІ (*Communication with Extraterrestrial Intelligence*). За влучним зауваженням Б. М. Пановкіна (1979), «тема позаземних цивілізацій – це те «дзеркало», в якому людство розглядає самого себе, дає оцінку своєму місцю у Всесвіті, намагається визначити свою «космічну долю». Людина освоює цю тему і методами природничо-наукового аналізу, і всім арсеналом засобів духовної культури».

Тут звернемо увагу лише на деякі моменти цієї проблеми. На початку 20-х років Г. Марконі повідомив, нібито його радіостанції по обох боках Атлантичного океану вловили слабкі радіосигнали, які могли б бути передачами з іншої планети. У 1924 р., коли відбулося

велике протистояння Марса, 24 квітня всі американські радіостанції на деякий час припинили радіопередачі і намагалися виявити сигнали від цієї планети, чого, однак, не сталося.

І все ж у 40-х і 50-х роках, в часи «інтенсивного розвитку астроботаніки», у матеріалах для лекторів-пропагандистів можна було прочитати такі рядки: «Те, що на Марсі є життя, принаймні рослинне, це ми тепер вже знаємо напевне. Ну, а оскільки є рослинність, то дуже імовірно, що є і якийсь тваринний світ... Ми маємо підстави думати, що клімат на Венері не лише дуже теплий, а й вологий, що там умови для життя вкрай сприятливі...» Як знаємо, два апарати «Вікінг» (США) у 1976 р. здійснили м'яку посадку на поверхню Марса і передали на Землю зокрема панорамні знімки і результати певних біологічних тестів, з яких випливало, що ніяких форм життя на Марсі немає. Аналогічні висновки зроблено на підставі даних про умови на поверхні планети Венера, отриманих АМС «Венера» (СРСР).

У 1960 р. американські радіоастрономи П. Кокконі та Ф. Моррісон здійснили аналіз принципової можливості прийому радіосигналів, що могли б бути переданими в бік Землі від інших цивілізацій на відстанях до 100 світлових років. У квітні того ж року Ф. Дрейк (США) розпочав пошук таких штучних сигналів за допомогою 25-метрового радіотелескопа Грин-Бенк, об'єктами досліджень були зорі τ Кита і ε Еридана. У 1960 р. голландський математик Г. Фрейденталь запропонував проект «космічної мови» (лінкос) – універсальної мови для таких зв'язків. Тоді ж Р. Брейсвел висловив припущення, що високорозвинута цивілізація засилає в найближчі до неї околиці Всесвіту автоматичні зонди. Для аналогічних передач з Землі розроблено «космограми» – найпростіші послання у формі рисунків. Одне з них з 1974 р. ритмічно пересилають з 300-метрового радіотелескопа (о. Пуерто-Ріко) в бік кулястого скупчення М 13 (в Геркулесі, відстань 24 000 світлових років).

Можливості існування розумного життя за межами Землі обговорювали на декількох міжнародних симпозиумах, зокрема в Бюраканській астрофізичній обсерваторії (Вірменія) у 1964 і 1971 рр. У 1982 р. Генеральна асамблея МАС створила постійну комісію «Біоастрономія» у складі 250 чоловік. І вже у 1984 р. деякі результати роботи цієї комісії заслухано на міжнародному симпозиумі.

Великий резонанс мала поява у 1962 р. книги Й. С. Шкловського «Всесвіт, життя, розум» (шосте, посмертне видання – у 1987 р.). У ній вперше для широкого кола читачів, зокрема, донесено сформульоване російським ученим О. А. Ляпуновим функціональне визначення поняття «життя», доведено примітивізм уявлень А. Г. Опаріна про коацервати як проміжний етап самозародження життя на Землі.

§ 3. ЕВОЛЮЦІЯ ВСЕСВІТУ: СЦЕНАРІЙ 80-х РОКІВ

З середини ХХ ст. як фізики, так і астрономи зміцнювалися в переконанні, що властивості світу «на мікрорівні» невіддільні від його властивостей «у мегасвіті», в космологічних масштабах. Зокрема, наприкінці 50-х років Макс Борн у книжці «Фізика в житті мого покоління» стверджував, що «майбутня теорія матерії не може оминати космологічну точку зору». Рівно через 10 років інший фізик – Вернер Гейзенберг у статті «Космологія, елементарні частинки, симетрія» написав (маючи на увазі побудову П. Діраком релятивістської квантової механіки, за якою «найнижчий енергетичний рівень» не є «чистим нічим», позбавленим матерії, бо це «чисте ніщо» може бути віртуально перетворене в багато пар «частинка-античастинка»): «Завдяки відкриттю Дірака основним станом фізики частинок стало вже не Ніщо, а Космос. З цією обставиною, на нашу думку, пов'язаний розв'язок проблеми єдиної теорії елементарних частинок». При цьому Гейзенберг передбачав, що «можливо, вже в близькому майбутньому космологія стане частиною фізики елементарних частинок, як дещо раніше на це надіявся Ейнштейн у своїй єдиній теорії поля».

Саме оте «ніщо», *фізичний вакуум*, і поєднав фізиків, коли їхні можливості в земних лабораторіях майже вичерпалися, і космологів. Бо ж і ті, і ті переконалися в правильності сказаного Робертом Емденом і сприйнятого в найширшому розумінні: досліджуючи глибини Всесвіту, ми зазираємо в надра атома. Що більше, всупереч тисячолітньому досвіду людей, за яким «з нічого не родиться ніщо», сучасна фізика стверджує, що якраз із нічого сталося все. Як образно висловився Поль Девіс, за Всесвіт не треба «платити» – це абсолютно «безплатний ленч». В цьому – вихідне положення «еволюції Всесвіту за сценарієм 80-х років». Однак «фізична ідеологія» і математичне обґрунтування сценарію (фактично – різних його варіантів) є

настільки складними, що це дало привід Стівену Хокінгу на одному з етапів зміни варіанту сказати: «...нова модель... як наукова теорія вже мертва, незважаючи на те, що багато дехто, очевидно, не чули про її кончину і продовжують писати статті так, як нібито ця модель все ще життєздатна...»

«Великі числа» як орієнтир. Увівши в 1900 р. квант дії $\hbar = h/2\pi$, Макс Планк зіставив його з двома іншими фундаментальними фізичними параметрами – гравітаційною сталою G і швидкістю світла c . Так отримано «планківські» одиниці довжини, часу, маси і густини

$$l_p = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \quad t_p = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^5}} \quad m_p = \sqrt{\frac{c\hbar}{G}} \quad \rho_p = \frac{c^5}{G^2\hbar}$$

конкретно $l_p \approx 10^{-33}$ см, $t_p \approx 10^{-43}$ с, $m_p \approx 10^{-5}$ г і $\rho_p \approx 5 \cdot 10^{93}$ г/см³.

Їхній фізичний зміст став прояснюватися лише через два десятиліття. У 1918 р. А. Еддінгтон зауважив, що планківська довжина «повинна служити ключем до певної дуже істотної структури». Щоправда, П. Бріджмент у своїй книжці «Аналіз розмірностей» через декілька років висміяв це твердження, мовляв, до реальної фізики ці одиниці відношення не мають.

А ось слова фізика Л. Б. Окуня (Росія) з його статті «Фундаментальні константи фізики» (1991): «Перша детальна стаття, присвячена системі $cG\hbar$, «Світові сталі і граничний перехід» була опублікована на початку 1928 р. Г. Гамовим, Д. Іваненком і Л. Ландау... На початку 30-х років М. П. Бронштейн дав детальну класифікацію фізичних теорій на основі $cG\hbar$ -одиниць і використав їх при квантуванні гравітації. Він увів термін $cG\hbar$ -фізика... далі в середині 50-х років про роль маси Планка згадали Л. Ландау і Дж. Уїлер. На цей раз мова йшла про те, що при наближенні до планківських відстаней l_p ... гравітаційна взаємодія повинна зрівнятися за силою з іншими взаємодіями і для неї мають стати істотними квантові флуктуації...

В наш час маса Планка m_p , поруч з константами \hbar і c , розглядається як фундаментальна фізична величина, яка характеризує енергетичний масштаб теорій **супероб'єднання** всіх взаємодій, включаючи гравітаційну. Як відомо, найперспективнішим напрямом створення теорії супероб'єднання вважається теорія **суперструн**... Фундаментальними об'єктами цієї теорії є не точкові частинки, а протяжні одновимірні об'єкти – «струни», що мають планківські

розміри l_p . Водночас планківська шкала з її типовим часом t_p лежить в основі квантової космології, фундаментальним об'єктом якої є хвильова функція Всесвіту... Одна з цілей квантової космології – зрозуміти, як у процесі еволюції раннього Всесвіту фіксуються властивості частинок і вакууму».

Головні етапи «зближення інтересів» фізиків та астрономів такі. У 1967 р. американські фізики Стівен Вайнберг (народ. 1933 р.) та Шелдон Глешоу (народ. 1932 р.) і незалежно пакистанський фізик Абдус Салам (народ. 1926 р.) розробили єдину теорію слабких та електромагнітних взаємодій, головний висновок якої полягає в тому, що при енергіях порядку і вище 100 ГеВ слабкі і електромагнітні сили стають нерозрізнюваними. За аналогією з електромагнітною взаємодією було припущено, що слабка взаємодія здійснюється завдяки проміжним векторним бозонам (їх спін дорівнює одиниці). Тому, зокрема, акт розпаду нейтрона відбувається спочатку за схемою: нейтрон перетворюється в протон з випромінюванням W^- -бозона, після чого цей бозон розпадається на електрон і антинейтрино. У 1983 р. W^\pm – і нейтральний Z^0 -бозони відкриті у прискорювальному центрі ЦЕРН у Швейцарії. Їхні маси відповідно 81 і 93 ГеВ.

З теорії випливає, що «Велике об'єднання» електромагнітної, слабкої і сильної взаємодії реалізується при енергіях 10^{14} ГеВ (що відповідає температурі 10^{27} К). Процеси ж усіх чотирьох взаємодій не розрізняються при енергіях 10^{19} ГеВ. Такі енергії в прискорювачах у принципі недосяжні. Тим часом з факту наявності реліктового радіовипромінювання випливає, що в минулому температура (концентрація енергії) у Всесвіті була дуже високою. І фізикам і космологам не залишалось нічого, як з'ясувати процеси, наслідком яких виникають спостережувана баріонна (зарядова) асиметрія речовини, відношення $\mathcal{N}_B \approx 10^9$ («проблема ентропії»), ізотропність реліктового випромінювання («проблема горизонту»), проблема евклідовості геометрії тощо.

ТЕОРИЯ СПОНТАННОГО НАРОДЖЕННЯ. Зі співвідношень загальної теорії відносності, на яких базується сучасна космологія, випливає, що в замкнутому Всесвіті повна енергія, як і повна маса спокою тотожно дорівнюють нулеві (оскільки враховується взятий з від'ємним знаком «дефект маси», обумовлений гравітаційною взаємодією матеріальних структур). Невдовзі після того, як у 1962 р. Я. Б. Зельдовичем

і незалежно І. Д. Новиковим дано очевидне пояснення цього «містичного» результату замкнутого Всесвіту, у 1965 р. Г. І. Наан (Естонія), у 1973 р. Е. Тріон (США) і в 1975 р. П. І. Фомін (Україна) сформулювали гіпотези, за якими наш Всесвіт «народився» «з нічого», точніше – з фізичного вакууму. Щодо цього Я. Б. Зельдович висловився (у 1987 р.) так: «Процес народження Всесвіту з нічого, безперечно, відбувався при типових часових і просторових інтервалах, а також енергіях порядку планківських одиниць... Я не можу довести, що Всесвіт народився з нічого, я лише досягаю скромнішої мети, а саме, я показую, що народження Всесвіту не заборонене ніяким фундаментальним фізичним законом». До речі, ще 1972 р. Я. Б. Зельдович, беручи до уваги недостатність «наземної» експериментальної бази для нових теорій елементарних частинок, писав, що Всесвіт – це прискорювач для бідних, тут експеримент не мав потреби у фінансуванні, і нам залишається лише опрацьовувати його результати...

У розглянутій вище (§ 2) стандартній теорії розширеного Всесвіту було слабе місце – сингулярність, вихідний стан з нескінченно великою густиною ($\rho = \infty$ при $t = 0$), збагнути який так і не вдавалося упродовж понад 50 років. Прояснення цієї ситуації розпочалося у 1972 р. публікацією російського фізика Д. А. Кіржніца, в якій досліджено фазові переходи в надщільній речовині, зміну властивостей елементарних частинок і законів, за якими вони взаємодіють між собою при достатньо високій температурі. З другого боку, значну роль зіграла модель еволюції Всесвіту, запропонована у 1979 р. А. А. Старобінським (СРСР) і заснована на тому, що за вихідну можна прийняти модель де Сіттера (§ 1) з урахуванням особливостей вакуумного стану, розпад якого переводить цю модель в гарячий Всесвіт Фрідмана. Вихідною для такого поєднання згаданих двох моделей була гіпотеза (1965 р.) Е. Б. Глінера (СРСР), за якою у Всесвіті на ранніх стадіях його розвитку зв'язок тиску p та густини енергії ϵ мав вигляд $p = -\epsilon$ (в земних умовах цей стан є типовим для твердих тіл за умови їх розтягу).

Те, що початковим етапом розвитку Всесвіту слід приймати саме роздування за експоненціальним законом, було усвідомлено після роботи (1981 р.) Алана Гута (США), який спробував у той спосіб пояснити, зокрема, проблему горизонту і евклідовість простору. Однак його сценарій мав істотні недоліки: Всесвіт після роздування

ставав дуже неоднорідним і неізотропним. Наприкінці того ж року Андрій Лінде (СРСР) запропонував інший варіант моделі, за яким суть процесів на етапі роздування можна описати наближено так.

У початковий момент $t \approx t_p \approx 10^{-43}$ с при просторовому масштабі комірки, яка починає роздуватися, $l \approx l_p \approx 10^{-33}$ см частинки (реальні, якщо вони є у цій комірці, і віртуальні) ще не мають маси. У самому ж вакуумі прихована величезна потенціальна енергія, «рівень» якої не зменшується при роздуванні комірки (фактично – Всесвіту). Потенціальна ж енергія взаємодії частинок регулюється особливими скалярними полями Хіггса (введеними в квантову теорію поля у 1964 р. англійським фізиком П. Хіггсом), які на певному етапі роздування взаємодіють з елементарними частинками і породжують їхню масу. При роздуванні спочатку з'являються надважкі бозони і відповідні їм антибозони (зокрема X і \bar{X}) з дробовим ($\pm 4/3$) електричним зарядом. При зниженні температури (а вона на початку роздування могла сягати 10^{30} К) бозон розпадається на два кварки ($X \rightarrow u + u$) або антикварк і лептон ($X \rightarrow \bar{d} + e^+$). І тут дуже важливим є те, що імовірності розпаду за цими двома схемами не є строго однаковими (!). При дальшому роздуванні і зменшенні температури кварки об'єднуються в протони й нейтрони, антикварки – в антиречовину, а після їхньої анігіляції залишається певна кількість звичної для нас речовини.

Існування двох каналів розпаду бозона на кварки і антикварк + антилептон фактично означає, що баріонний заряд не зберігається. Бо якщо є, зокрема, розпад $X \rightarrow u + u$ і $X \rightarrow \bar{d} + e^+$, то правильною буде і схема $u + u \rightarrow \bar{d} + e^+$ і, отже, $u + u + \bar{d} = e^+$, тобто $p \rightarrow e^+ + \gamma$ (замість гамма-кванта може бути π^0 -мезон або пара $\pi^+ + \pi^-$). Цей факт передбачив А. Д. Сахаров (1920–1989) ще в 1967 р., тому й мовиться, що орієнтовно через 10^{32} років (таким є, за деякими оцінками, період піврозпаду протона) наш Всесвіт перетвориться у лептонну пустелю.

У деяких сценаріях розгляд процесів на «найбільш ранньому» етапі роздування Всесвіту здійснюється у припущенні багатовимірного простору, причому число вимірів d може бути 10, 11, 16, 26 і навіть 506. Покладають, що $d - 3$ виміри *компактифікуються* – розміри простору у цих вимірах стають сумірними з l_p , ми ж фактично сприймаємо лише тривимірний світ. Роздування триває від 10^{-43} с до 10^{-35} с, за

цей час розміри «комірки» (Всесвіту) зростають (за різними припущеннями про густину енергії вакууму) від 10^{10^7} до $10^{10^{14}}$ разів. Подальшу ж еволюцію Всесвіту описують теорією гарячого Всесвіту.

Детальний аналіз сценаріїв інфляційного Всесвіту здійснив А. Д. Лінде у своїй монографії «Фізика елементарних частинок та інфляційна космологія» (1990). Тут доречно навести його слова з передмови до цієї книги: «За декілька років свого існування сценарій роздувного Всесвіту пройшов шлях від досить таки фантастичної гіпотези до теорії, якої тепер дотримується більшість космологів. Це, звичайно, не означає, що зараз, нарешті, з'явилася цілковита ясність відносно фізичних процесів, які перебігають у ранньому Всесвіті. Незавершеність наявної картини відображена вже у самому слові «сценарій»... сучасний вигляд цього сценарію лише в найзагальніших рисах нагадує ті прості моделі, з яких починали його автори... Проте основні моменти цього сценарію вже досить добре опрацьовані, і виглядає можливим підвести деякі попередні підсумки його розвитку». Однак завершує книгу А. Д. Лінде трохи песимістичніше: «Шлях до створення послідовної космологічної теорії може виявитися ще дуже довгим, і не виключено, що багато деталей сьогоденного сценарію згодом буде відкинуто як непотрібне будівельне рихтовання. І все ж наявність інфляційної стадії виглядає тепер необхідним елементом майбутньої теорії».

АНТРОПНИЙ ПРИНЦИП. Упродовж багатьох століть людство поступово звільнялося від антропоцентричного погляду на будову світу, за яким Земля (згодом Сонце, Галактика) є центром світобудови. Але вигнаний через двері, він знову і знову повертався вікном...

Справді, як відмітив у 1984 р. Г. Л. Розенталь (СРСР), структура спостережуваного нами Всесвіту «допасована так крихко, що найменші зміни діючих у ньому закономірностей призводять до катастрофічних наслідків». Тим часом все наче підстроєне так, щоб розвиток усіх можливих процесів привів до появи на Землі різноманітних форм життя аж до людини, здатної розкривати таємниці «її» Всесвіту.

Очевидно, Г. М. Ідліс (народ. 1928 р., СРСР) був першим, хто зауважив у 1957 р.: всі відповідні властивості безпосередньо спостережуваного нами Всесвіту «є, взагалі кажучи, якраз необхідними і достатніми умовами для природного виникнення і розвитку життя аж до подібних до людини вищих розумних форм матерії, які, нарешті,

усвідомлюють самі себе». Дещо пізніше цей висновок з сучасної космології – «у Всесвіті діє прихований принцип, який організовує його певним чином» – висловили в найрізноманітніший спосіб різні автори: у 1961 р. Р. Дікке, в 1969 р. А. А. Зельманов, у 1974 р. В. Картер та інші.

«Антропність Всесвіту» обговорюється багатьма авторами. Заслугує уваги книга Поля Девіса «Випадковий Всесвіт» (1985). Найповніше ж ця проблема викладена у книжці Дж. Берроу і Ф. Тіплера «Антропний космологічний принцип» (1986), в якій на понад 700 сторінках (понад 1500 бібліографічних посилань) охоплено найрізноманітніші аспекти від фізики, астрофізики, космології, біохімії, біології, науки про комп'ютери до історії, філософії, проблеми позаземних цивілізацій і релігії.

Тут обмежимося формулюваннями антропного принципу у двох його варіантах В. Картера. *Слабкий* АП: «Ми повинні сприйняти той факт, що наше положення у Всесвіті обов'язково привілейоване до такої міри, щоб бути сумісним з нашим існуванням як спостерігачів». *Сильний* АП: «Всесвіт, а отже і фундаментальні параметри, від яких він залежить, повинні бути такими, щоб сприйняти створення спостерігача в ньому на певній стадії».

ПРОБЛЕМА ПРИХОВАНОЇ МАСИ. З усього сказаного вище про інфляційну модель випливає, що її «реалізація» проявляється у *замкнутості* Всесвіту, що отже, в наш час виконується співвідношення $\bar{\rho} = \rho_{кр}$, тобто $\Omega = 1$. Тим часом, як встановлено зі спостережень (§ 2), густина речовини у формі галактик і міжгалактичного газу приблизно у сто разів менша ($\Omega \lesssim 0,01$). Для пояснення ж обертання галактик, за даними Віри Рубін ще з 70-х років, на підставі спостережень нейтрального водню в лінії 21 см, необхідна маса з $\Omega \approx 0,1$. З аналізу скупчень галактик – їх динамічної рівноваги і рентгенівської світності – виникає необхідність $\Omega \approx 0,2 \dots 0,3$. Проте аналіз анізотропії реліктового мікрохвильового фону, здійснений недавно (1992 р.) групою Г. Смута в експерименті COBE (*COsmic Background Explorer*) підтверджує вказане вище значення $\Omega \approx 1$.

Спектр можливих кандидатів у приховану масу дуже широкий. Ними можуть бути окремі форми баріонної речовини (коричневі карлики, чорні діри) або ж матерія у формі слабковзаємодіючих частинок. Це, зокрема, *аксіони*, які «з'являються» в теорії при спробі

пояснити відсутність електричного дипольного моменту у нейтрона, як також частинок, що беруть участь лише в слабкій і гравітаційній взаємодіях і з'являються в теорії суперсиметрії, яка об'єднує всі чотири взаємодії.

Здійснений на початку 90-х років аналіз (серія статей в «*Astrophysical Journal*») переконливо вказує на те, що в рамках стандартної гарячої моделі Всесвіту наявний вміст дейтерію, гелію і літію вимагає сильного обмеження поширеності баріонів» ($0,01 < \Omega_b < 0,1$). Тому є всі підстави вважати, що частина прихованої маси є баріонною, але в сумі – видима + невидима баріонна маса – вона становить менше 10% усієї матерії Всесвіту.

Що це так, підтверджується декількома групами, які працюють за програмами МАКОГ – «*Масивні Компактні Об'єкти Гало*» (англійська аббревіатура *MACHO*), використовуючи ефект гравітаційного мікролінзування. Суть його полягає в тому, що ближчий масивний об'єкт «фокусує» світлові промені, які йдуть до спостерігача від об'єкта дальшого. Таким чином, ця гравітаційна лінза працює як збирна лінза і збільшує яскравість об'єкта. Якщо в ролі гравітаційної лінзи виступає об'єкт гало нашої Галактики, то яскравість дальших джерел зір Магелланових хмар тощо змінюється з часом, але до і після мікролінзування вона однакова. Аналіз показав, що для фіксації хоча б одної події необхідно здійснювати моніторинг десятка мільйонів зір в Магелланових Хмарах чи балджу Галактики. Сама ідея застосувати цей ефект для вивчення МАКОГ, використовуючи зорі Магелланових Хмар, висловлена у 1986 р. польським астрономом Б. Пачинським.

Пошуки МАКОГ в наш час здійснюються чотирьома групами. Перша програма *EROS* (*Experience de Recherche d'Objects Sombres*), яка фінансується Францією, розпочала роботу в 1990 р. на телескопі *ESO* в Ла-Сілла (Чилі). Здійснюється моніторинг 8 млн. зір ММХ у двох фільтрах одночасно на пластинки $5^\circ \times 5^\circ$ на телескопі Шмідта і 10^5 зір в полі $1^\circ \times 0,4^\circ$ ПЗЗ-камери 0,4-метрового телескопа. Друга, австралійсько-англійська програма МАКОГ діє з 1992 р. з використанням 1,27-метрового телескопа обсерваторії Маунт-Стромло для неперервного моніторингу балджу Галактики і ВМХ, методика така ж. За рік спостережень побудовано криві блиску для 9,5 млн. зір. Третя, польсько-англійська програма

OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiments) почала діяти з 1992 р. на 1-метровому телескопі в Лас-Кампанасі у Чилі. Четверта програма *DOU (Disk Unseen Objects)*, Франція) діє з 1993 р. на телескопі Шмідта *ESO* в Ла-Сілла. Здійснюється моніторинг 15 млн. зір балджу Галактики.

Експерименти ці не завершені, однак попередні результати вже є. Так, група *EROS* зафіксувала 3 події мікролінзування в напрямі на ВМХ, група *MACHO* – 5 подій в напрямі ВМХ і близько 60 подій в напрямі балджу Галактики, група *OGLE* повідомила про реєстрацію 15 таких подій, група *DUO* – 10. Це – результат 1994 року. З усього цього зроблено висновок, що найімовірніша маса МАКОГ є в діапазоні 0,01...0,1 маси Сонця, тобто це коричневі карлики. Оцінено повну масу таких об'єктів у Галактиці: $8 \cdot 10^{10} M_{\odot}$, тоді як повна маса зір і газу в ній – $6 \cdot 10^{10} M_{\odot}$. Але ці об'єкти – лише 20% маси гало. Так підтверджується висновок, що понад 90% маси Всесвіту перебуває у небаріонній формі. Експерименти ж у цьому напрямі продовжуються.

Короткі висновки:

1. Астрономічні спостереження з середини ХХ ст. проводяться в усіх діапазонах електромагнітних хвиль. Розміри телескопів стали справді велетенськими, а методи реєстрації піднесено до рівня лічби буквально кожного фотона.

2. З'ясовано тонкощі будови зір, розкрито таємницю джерел їх енергії, накреслено шляхи їхньої еволюції залежно від маси зорі.

3. Досліджено склад, будову і хімічну еволюцію речовини як нашої Галактики, так і інших таких же зоряних систем, а також особливості їхнього розподілу в просторі.

4. Зроблено істотні кроки до розуміння закономірностей розвитку Всесвіту як цілого, що стало можливим завдяки поєднанню зусиль релятивістської космології (яка сама є здобутком ХХ ст.) і фізики елементарних частинок. Астрономія сягнула такого високого рівня розвитку, що, давши відповідь на питання «як збудований світ?», зуміла, у формі антропного принципу, сформулювати інше, не менш важливе: «чому Всесвіт є саме таким?». Повнішу відповідь, очевидно, буде отримано у ХХІ ст.

ПІСЛЯМОВА

«Світ складається з таємниць, які не можна відкрити за один день: природа не показує нам їх усіх разом. Ми думаємо, що вже втаємничені в них, а виявляється, що стоїмо усього лише на порозі храму. Наш час пояснив деякі з цих таємниць, і майбутнє буде продовжувати нашу справу» (Сенека: «Природничі питання»). Ці слова Сенеки можуть бути якнайвиразнішим епіграфом до історії будь-якої науки, що стосується природознавства. Як і ось ці слова А. Ейнштейна: «Врешті-решт існує лише одна істина і незліченна кількість помилкових шляхів. Потрібна сміливість і відданість науці, щоб віддавати кожну годину свого життя, всі свої сили, маючи лише малий шанс на перемогу» (1946 р.).

У книгах, що мають багатообіцяючий титул історії тої чи іншої науки, йдеться про інтервали часу в декілька тисяч років, і головну увагу в них приділяють звичайно висвітленню «переломних моментів», тобто «визначальних віх» на шляху розвитку науки (тепер є модним інше формулювання – «зміна парадигм»). В історії науки йдеться про те, як багато поколінь будівничих докладали іноді найнеймовірніших зусиль для зведення її пишного палацу. Проте здебільшого ці зусилля залишаються прихованими від читача. Не завжди він, читач, може з'ясувати «тонкощі» методів, завдяки яким отримано те чи інше нове знання. Бо: «Наука має свої виставочні вікна, в яких виставляє готові продукти, досконало логічно опрацьовані, а тому майже досконало гарні; проте крім того вона має і верстати, до яких звичайно аматори не мають доступу» (А. Еддінгтон).

Іноді, переоцінюючи вже наявні знання та недобачаючи певних огріхів, тріщин у будівлі науки і навіть загрози розвалу її окремих прибудов, деякі вчені-будівничі могли виявляти дивовижне засліплення. Як ось Кірхгоф, який наприкінці ХІХ ст., почувши про те, що хтось зробив певне відкриття, запитав: «А хіба взагалі залишилося ще щось відкривати?..»

Частіше, ніж з якимось конструктивними поглядами, певні «визначальні моменти» в історії науки пов'язують з конкретними іменами, як ось з іменем Птолемея, Коперника, Ньютона, Ейнштейна, які стають своєрідними символами. Таке бачимо в підручниках шкіл і вузів. І лише небагатьом, зокрема – історикам науки, відомо, що поруч з цими гігантами жили й працювали інші трудівники –

будівничі, без непомітної, але плідної праці яких, можливо, не було б і отих «проривів» у Невідоме, отих «осянь», завдяки яким Ньютон став Ньютоном, а, скажімо, Ейнштейн – Ейнштейном. Напевне, частково і тому їм, великим зодчим, була притаманна дивовижна скромність: «Не знаю, як на мене подивиться світ, але самому собі я здаюся хлопчиною, який грається на морському березі і який захоплюється, якщо йому іноді вдається знайти гладший, ніж звичайно, камінчик або гарну черепашку; тоді як велетенський океан прихованої істини простягається переді мною» (І. Ньютон). Або: «Те, що ми знаємо, нікчемно мале, те ж, чого не знаємо, незбагненно велике» (П. Лаплас). Як також: «Одне я усвідомив за своє довге життя: вся наша наука наївна і проста порівняно з реальністю – і все ж це найдорожче, що в нас є» (А. Ейнштейн).

Бо й справді, з одного боку, кожен крок уперед в розкритті таємниць світобудови переповнює наші серця гордістю за могутність людського розуму. Тому й хочеться, услід за Блезом Паскалем, сказати: «Дивне не те, що Всесвіт безмежний, а те, що людина здатна розкрити його таємниці». Але водночас все досягнуте вчить нас і скромності: чим вище підіймаємося ми крутою, кам'янистою стежиною знань, тим ширшає горизонт і тим все очевидніше, що «там», за ним – безліч незвіданого, яке в усьому своєму об'ємі, можливо, ніколи людству так і не вдасться з'ясувати за історично відведений йому час. Не випадково ж у статті, присвяченій 200-річчю з дня смерті Ньютона, Ейнштейн писав: «Безперечно, що розум здається нам слабким, коли ми думаємо про задачі, які стоять перед ним; особливо слабким він здається, коли ми протиставляємо його безумству і пристрастям людства, які, треба визнати, майже цілковито керують долями людськими як у малому, так і в великому. Але творіння інтелекту переживають шумливу метушню поколінь і упродовж століть осявають світ світлом і теплом!»

В намаганні з'ясувати ту чи іншу проблему світобудови деякі астрономи звертали свій погляд «вище», думаючи про Творця усього (як ось Коперник, Кеплер, Ньютон та й інші). Іноді, особливо в минулому, це робилося в дуже примітивний спосіб, як це видно хоча б зі слів астронома XVII ст. Дархама щодо природи туманності Андромеди: «у цьому місці небесна твердь дещо тонша, що дозволяє нам бачити нетлінне світло, яке сяє в емпіреї, де живуть святі...» Але

навіть в середині ХХ ст. дуже «тверезі уми» все ж не могли ухилитися від ось таких зауважень, як це зробив Фред Хойл: «Здорова інтерпретація фактів дає можливість покласти, що в фізиці, а також у хімії та біології експериментував «надінтелект» і що в природі немає сліпих сил, які б заслуговували уваги...»

Серед інших наук природознавства астрономія особливо виділяється тим, що тут учений не в змозі відтворити певну подію, повторити експеримент. В недалекому минулому астрономи – це були люди, які буквально поголовно довгими ночами (зимою – при будь-якій температурі...) просиджували біля телескопів, проводячи певні спостереження. І здається, хто ще, крім астронома (конкретно – директора Гринвіцької обсерваторії Е. Галлея) міг сказати своєму «хлібодавцеві» (королю), коли той обіцяв збільшити мізерну платню: «Прошу не робити цього, бо коли ви це зробите, то на цю посаду вже претендуватимуть не астрономи...» Тому й сказав Е. Хаббл: «Астрономія подібна до пасторського служіння: тут потрібен поклик...»

І – декілька слів про найголовніше. В процесі розвитку науки йде безперервний процес повільного і багатопланового нагромадження фактів, уточнення тих чи інших даних. Реалізується «на практиці» сказане А. Дж. Камероном: «Наука – це ітеративний процес». Саме під таким кутом зору можна глянути на зусилля вчених будь-якої країни. Звичайно, оглядаючись назад на чотири тисячоліття, можна позаздрити давнім грекам чи китайцям. Але те саме можуть сказати ще й ось ті, і ті...

Автор цих рядків завершує свою роботу над цією книгою з почуттям гордості і великого жалю. З гордості (і щастя) за приналежність до невеликої когорти людей, які зуміли в минулому і вперто намагаються тепер буквально виривати у Природи її таємниці. З гордості за те, що конкретно в нас це супроводжувалося (для всіх!) безперервними змаганнями з тими чи іншими труднощами («немає телескопів», «немає обчислювальних машин», «немає літератури», «немає зв'язків із закордонними вченими» і т. д., і т. ін.). Зокрема, це стосувалося і матеріального становища астрономів, досить згадати хоча б, що статус науково-дослідних установ університетські обсерваторії отримали лише в 1970 р. Але МИ «не здалися», навпаки, продовжували свої дослідження

навіть в умовах, коли упродовж багатьох місяців не отримували хоча б частину якоїсь зарплати...

З великим жалем, бо після довгих роздумів автор дійшов висновку, що не в змозі у книзі такого плану (де якраз увагу зосереджено на отих «визначальних моментах» в історії астрономії) приділити більше уваги вітчизняній астрономії, своїм колегам. Книга, що має назву історії певної науки – це своєрідний гімн винахідливості людського розуму, це – велична симфонія, де вже не чути «ні іудея, ні елліна...» Тим часом розповідь про науку «конкретного племені» була б зведена до рівня своєрідного «бухгалтерського звіту» з багатьма сотнями імен. Усе це, безперечно, були б люди, які засвідчили свою відданість науці жертвовною працею, усім своїм життям! То ж будемо радіти з того, що в нас невдовзі вийде друком серія книг «Наука в Україні», одним із її томів буде «Астрономія в Україні».

Двадцять століття – золотий час в історії астрономії. Спостереження небесних об'єктів проводяться в усіх діапазонах електромагнітних хвиль. Розкрито таємниці джерел енергії зір. З'ясовано шляхи еволюції зір та галактик в масштабах мільярдів років. Усвідомивши місце своєї крихітної планети в безкрайньому Всесвіті, людина однак гордо змагає прокласти шляхи до інших небесних тіл... Сягнувши нового тисячоліття, ми особливо чітко бачимо всю багатопрофільну і самовіддану працю багатьох українських колективів, сотень вітчизняних учених. І ми шанобливо зупинилися, щоб мовчки скласти їм данину свого захоплення й поваги, дуже шкодуючи, що у цій книжці ми не змогли ні розповісти про їх зусилля у розкритті таємниць Всесвіту, ні навіть назвати їхні імена...

ХРОНОЛОГІЯ НАЙВАЖЛИВІШИХ ВІДКРИТТІВ В АСТРОНОМІЇ

До н.е.,
роки

- 4 000 Перші астрономічні спостереження в Єгипті та Месопотамії, встановлення єгиптянами того факту, що геліакічний схід Сиріуса настає за декілька днів перед розливом ріки Ніл
- Бл. 3400 Побудова піраміди Хеопса з орієнтацією її за сторонами світу
- Бл. 3000 Перші астрономічні записи в Єгипті, Вавилоні, в Китаї
- 2697 Найдавніша згадка про сонячне затемнення (Китай)
- 2315 Перша згадка про появу комети (Китай)
- 2137 Повне сонячне затемнення в Китаї (22.X), за непередбачення якого, за легендою, були страчені астрономи Хо і Хі
- 2000 Поділ приекваторіальної зони неба на 36 ділянок – «деканів», використання календаря з тривалістю року 365 діб (Єгипет) Винайдення гномона і кутомірного приладу для вимірювання зенітних відстаней світил (Вавилон, Єгипет) Найменування яскравих зір та сузір'їв (Сиріус, Оріон, Плеяди), розробка місячно-сонячного календаря і 7-денного тижня, сонячних і водяних годинників (Вавилон)
- 1900 Будівництво «обсерваторії» Стоунхендж (Південна Англія)
- 1500 Найдавніше зображення сузір'їв (віко саркофага, Єгипет)
- 1100 Встановлення нахилу екліптики до екватора (китайський астроном Чу Конг)
- VIII ст. Гомер і пізніше Гесіод (Давня Греція) засвідчують, що європейці також поділили небо на окремі сузір'я і використовують спостереження їх сходів та заходів для встановлення строків польових робіт
- Бл. 700 У Вавилоні складено підручник з астрономії «Мул апін», зону уздовж екліптики розділено на 15 сузір'їв, названих іменами тварин
- 595 Встановлення 19-річного циклу зміни фаз Місяця (Китай), перевідкрито в 450 р. (Вавилон) і 433 р. Метоном (Греція)
- Бл. 550 У Давній Греції сформувалося уявлення про кулястість Землі (Піфагор)
- 532 Перша відома реєстрація «зорі-гості» (Наднової, Китай)
- IV ст. Евдокс Кнідський створив першу теорію руху планет, за якою планети прикріплені до концентричних сфер, що обертаються навколо Землі, усіх гомоцентричних сфер – 27
- Бл. 350 Гераклід Понтійський висловив думку про обертання Землі навколо своєї осі

- Бл. 330 Аристотель в книгах «Фізика» та «Про небо» систематизував тогочасні уявлення про світобудову, за якими Земля знаходиться в центрі світу, тоді як Сонце, Місяць і планети, а також зоряне небо обертаються навколо неї, та дав цьому «фізичне обґрунтування»
- 301 Перший запис про сонячні плями (Китай)
- Бл. 280 Перший зоряний каталог з поданням екліптичних координат світил (Аристіл і Тімохаріс, Александрійська школа)
- Бл. 265 Аристарх Самоський здійснив першу спробу встановити відстань від Землі до Місяця і до Сонця, а також висловив думку, що Земля обертається навколо Сонця
- Встановлення кутового діаметра Сонця, спорудження небесного глобуса, перші розмірковування про розміри Всесвіту (Архімед)
- 240 Перший «градусний» вимір довжини земного меридіана (252000 стадіїв, тобто 40 – 46 тис. км, Ератосфен, Александрія)
- 150–123 Гіппарх з високою точністю встановив відстань до Місяця і визначив його радіус, розробив першу теорію руху Сонця і Місяця, склав каталог бл. 850 зір з поділом їх на 6 класів за блиском, відкрив явище прецесії та спостерігав спалах Нової зорі (134 р.)
- 45 З 1-го січня в Римській імперії введено юліанський календар, розроблений александрійським астрономом Созігеном
- Бл. 140 Клавдій Птолемей в «Альмагесті» описав геоцентричну модель світу, в якій петлеподібний рух планет на небі пояснювано складанням їх рівномірних колових рухів по епіциклах, центри яких також рівномірно обертаються навколо Землі по деферентах, там же вміщено каталог положень і блиску 1025 зір, як також дано опис нових астрономічних приладів – трикветрума (назва пізніша) та астролабона
- IV ст. Висловлено твердження про те, що ідея кулястості Землі не суперечить Біблії (Василій Великий, Григорій Ніський, Візантія)
- V ст. Відродження у Візантії уявлень про плоску Землю, що найповніше було сформульовано в книжці Косми Індікоплевста «Християнська топографія Всесвіту» (бл. 547 р.)
- 499 Індійські вчені Аріабхата і Варахаміхара висловили твердження про кулястість Землі та її обертання навколо своєї осі
- 827 Визначення радіуса Землі арабськими (багдадськими) астрономами
- Поч. Складення Ібн Юнусом (в Каїрі) Гахимітських таблиць руху
- XI ст. Сонця, Місяця і планет; визначення розмірів Землі хорезмійським ученим Беруні ($R_{\oplus} \approx 6608$ км)

- 1175 Переклад на латинську мову «Альмагеста» (Герхард із Кремони)
- 1252 При дворі кастильського короля Альфонса X Мудрого складено «Альфонсові таблиці» руху планет, які використовувалися до середини XVI ст.
- 1440 Микола Кузанський висловив думку про рух Землі у просторі, про подібність Землі й інших небесних тіл між собою щодо їхнього складу, про нескінченність Всесвіту і широку поширеність життя в ньому
- 1449 В обсерваторії Улугбека в Самарканді складено зоряний каталог (усього 1013 зір) і таблиці руху планет
- 1513 М. Коперник у «Малому коментарі» виклав елементи геліоцентричної моделі світу
- 1528 Ж. Фернель (Франція) здійснив перший у Європі вимір довжини градуса меридіана
- 1540 Оpubліковане «Перше оповідання» Й. Ретика про геліоцентричну модель світу М. Коперника
- V.1543 Вийшла в світ книга Коперника «Про обертання небесних сфер»
- 1576– Тіхо Браге в своїй обсерваторії Ураніборг» (Данія) виконав спостереження положень зір, планет (особливо Марса), Місяця, Сонця і комет з нечуваною раніше точністю до 1'
- 1582 5 (15) жовтня у ряді країн Європи введено григоріанський календар
- 1583 Введення Скалігером (Франція) неперервної лічби часу в днях «юліанського періоду» з епохою 01.01.4713 р. до н. е.
- 1596 Відкриття першої змінної зорі (Міри Кита, – Д. Фабріцій)
- 1600 17.02. Спалення Джордано Бруно (Рим)
- 1603 Йоганн Байер опублікував «Уранометрію» – перший атлас всіх видимих зір, в якому яскраві зорі позначені грецькими літерами, там же було виділено 12 нових сузір'їв
- 1609 Й. Кеплер у «Новій, причинно обґрунтованій, астрономії, або фізиці неба...» сформулював перші два закони руху планет навколо Сонця
- 1610 У «Зоряному віснику» Г. Галілей повідомив про результати своїх телескопічних спостережень: відкриття ним чотирьох супутників Юпітера, гір на Місяці, фаз Венери, встановлення того, що Молочний Шлях є скупченням багатьох зір
- 1611 Винайдення схеми телескопа-рефрактора (Кеплер)
- 1611 Йоганн Фабріцій, відкривши незалежно від Галілея і Х.Шейнера сонячні плями, за їх видимим зміщенням на диску Сонця виявив обертання Сонця навколо своєї осі
- 1612 Відкриття (неозброєним оком) Туманності Андромеди (С. Марій, Німеччина)

- 1613 Христоф Шейнер побудував перший телескоп-рефрактор – астрономічну трубу за схемою Кеплера
- 1618 Х. Шейнер сконструював перше паралактичне монтування для телескопа
- 1619 Й. Кеплер у «Гармонії світу» сформулював третій закон планетних рухів
- 1627 Й. Кеплер опублікував «Рудольфові таблиці» – перші таблиці положень планет, складені на основі теорії Коперника
- 1631 Перше спостереження передбаченого Кеплером проходження Меркурія по диску Сонця (П. Гассенді, Франція)
- 1632 Галілей у праці «Діалог про дві найвидатніші системи світу» виклав докази правильності геліоцентричної моделі світу (у серпні книгу було внесено в «Індекс заборонених книг», а в наступному році відбувся суд інквізиції над ученим)
- 1655 Християн Гюйгенс відкрив супутник Сатурна Титан
- 1656 Гюйгенс відкрив кільце Сатурна
- 1662 Ісаак Ньютон вперше за допомогою призми розклав сонячний промінь у спектр
- 1663 Винайдення й опис рефлектора (Дж. Грегорі, Англія)
- 1665 Відкриття обертання Юпітера (Дж. Д. Кассіні, Італія)
- 1666 Відкриття обертання Марса (Дж. Д. Кассіні, Італія)
- 1668 І. Ньютон побудував перший телескоп-рефлектор
- 1672 За спостереженнями Марса у протистоянні у Парижі та Кайєні встановлено відстань від Землі до Сонця в 140 млн. км (Дж. Д. Кассіні, Ж. Ріше)
- 1675 Оле Ремер (Данія) за запізненнями затемнень супутника Юпітера у сполученні і протистоянні визначив швидкість світла
- 1687 Ісаак Ньютон у праці «Математичні основи природознавства» обґрунтував закон всесвітнього тяжіння та використав його для встановлення законів руху тіл Сонячної системи і визначення їхніх мас
- 1693 І. Ньютон висловив ідею про формування зір із дифузної речовини під дією сили тяжіння
- 1705 Едмонд Галлей (Англія) в «Нарисах кометної астрономії» вперше встановив періодичність повернення до Сонця комети, яку згодом названо його іменем
- 1718 Е. Галлей відкрив власні рухи зір (Сиріуса, Альдебарана і Арктура)
- 1727 Джеймс Бредлей (Англія) відкрив явище аберації, що було першим доказом правильності теорії Коперника – руху Землі навколо Сонця

- 1748 Дж. Брайдлей відкрив нутацію
- 1755 Іммануїл Кант (Німеччина) висловив гіпотезу, за якою планети і Сонце сформувалися з хмари розсіяної матерії
- 1761 М. В. Ломоносов (Росія), спостерігаючи проходження Венери по диску Сонця, відкрив наявність у цієї планети потужної атмосфери, це було доказом подібності фізичної природи Венери і Землі
- 1761 Йоганн Ламберт (Німеччина) в «Космологічних листах про будову Всесвіту» розвинув ідею структурної нескінченності Всесвіту
- 1774 Шарль Мессьє (Франція) опублікував 1-ше видання свого каталога (45 об'єктів, друге вид. – 1781 р. – 103 об'єкти)
- 1781 13.03. Вільям Гершель (Англія) відкрив нову планету Сонячної системи – Уран
- 1783 В. Гершель встановив, що Сонячна система відносно найближчих зір зміщується в напрямі на сузір'я Геркулеса
- 1785 В. Гершель побудував першу модель Галактики, встановивши, однак, Сонце в її центрі
- 1786 Едуард Пігготт (Англія) склав перший каталог змінних зір
- В. Гершель опублікував перший каталог туманностей і зоряних скупчень з їх описом
- 1787 В. Гершель відкрив перші два супутники Урана (Оберон і Титанія, у 1797 р. він же виявив, що вони рухаються у зворотний бік)
- 1791 В. Гершель розділив «молочні туманності» на справжні (з дифузної речовини) і фальшиві (далекі зоряні системи)
- 1794 Ернст Хладні (Німеччина) обґрунтував погляд на метеорити як на фрагменти міжпланетної речовини
- 1796 П'єр Лаплас (Франція) висловив гіпотезу, за якою планети утворювалися з кільця речовини, що відділялися від Сонця при його обертанні і стискуванні
- 1798 Генрі Кавендіш (Англія) встановив значення гравітаційної сталої і, як результат цього, – середню густину Землі
- 1800 В. Гершель виявив інфрачервоне випромінювання Сонця
- 1801 01.01. Джузеппе Піацці (Італія) відкрив першу малу планету Цереру (що це не комета, як думав Піацці, а саме мала планета, довів Карл Гаусс)
- 1802 Вільям Волластон (Англія) виявив у сонячному спектрі сім тонких темних ліній
- 1814 Йозеф Фраунгофер (Німеччина) дослідив та описав 574 темні лінії в спектрі Сонця
- 1821 Винайдення Й. Фраунгофером дифракційної ґратки
- 1837 В. Я. Струве (Росія) виміряв перший надійний зоряний паралакс (зоря Вега; у 1838 р. в Німеччині Ф. Бессель визначив річний

- паралакс зорі 61 Лебеда, у 1839 р. Т. Гендерсон (Англія) опублікував повідомлення про вимір паралакса зорі α Кентавра) це було другим підтвердженням руху Землі навколо Сонця
- 1839 Зі спроби фотографувати Місяць (Л. Дагер, Франція) розпочалося використання фотографії в астрономії
- 1843 Генріх Швабе (Німеччина) відкрив періодичність (бл. 10 років) у появі плям на Сонці
- 1846 23.09. Йоганн Галле в Берлінській обсерваторії на основі розрахунків Урбена Левер'є (Франція) відкрив восьму планету Сонячної системи – Нептун
- 1847 В. Я. Струве в «Етюдах зоряної астрономії» дійшов висновку про існування в Галактиці міжзоряної поглинаючої речовини
- 1846 Роберт Майєр (Німеччина), враховуючи встановлений ним закон збереження і перетворення енергії, висловив думку, що джерелом енергії Сонця є метеорити, які випадають на його поверхню
- 1851 В Парижі встановлено маятник Фуко – прилад для демонстрації обертання Землі навколо своєї осі
- 1854 Герман Гельмгольц (Німеччина) висловив думку, за якою енергія Сонця звільняється внаслідок його неперервного стискування
- 1856 Ю. Лібіх (Німеччина) винайшов хімічний спосіб сріблення дзеркал астрономічних телескопів
- 1857 Норман Погсон (Англія) розробив сучасну шкалу зоряних величин
- 1859 Річард Керрінгтон (Англія) вперше спостерігав сонячний спалах
- М. А. Ковальський (Росія) висловив думку про обертання Галактики
 - Роберт Бунзен і Густав Кірхгоф (Німеччина) встановили, що за особливостями спектра можна вивчати хімічний склад зір
- 1859– Вийшов у світ фундаментальний зоряний каталог «Боннський огляд» (BD), що містить координати і величини 324 198 зір до 9,5^m
- 1863 Анджело Секкі (Італія) запропонував першу класифікацію спектрів зір
- 1868 Джозеф Лок'єр (Англія) виявив у спектрі Сонця лінію раніше невідомого хімічного елемента – гелію
- 1872 Генрі Дрепер (США) отримав першу фотографію спектра зорі (Веги), на якій було видно лінії поглинання
- 1877 Відкриття «каналів» на Марсі (Дж. Скіапареллі, Італія)
- Асаф Холл (США) відкрив супутники Марса – Фобос і Деймос
 - Створення «Карти місячних гір» (32 856 кратерів, Фрідріх Юліус Шмідт, Німеччина)
- 1878 Георг Ріттер (Німеччина) почав розробку теорії внутрішньої будови зір

- 1884 На конференції 26 країн у США прийняте рішення про введення поясного часу
- 1885 Ернст Гартвіг (Німеччина) спостерігав наднову в туманності Андромеди
- 1887 Оpubліковано «Канон затемнень» Теодора Оппольцера (Австрія), в якому подано дані про 8000 сонячних і 5200 місячних затемнень з 208 р. до н.е. по 2163 р. н.е.
– Д. І. Менделєєв (Росія) провів перше спостереження сонячного затемнення з повітряної кулі
- 1888 Оpubлікований «Новий генеральний каталог» (NGC) Йогана Дрейєра (Англія), що містив понад 13000 туманностей і зоряних скупчень
- 1889 Відкрито спектрально-подвійні зорі (Е. Пікерінг, А. Морі, США)
- 1890 Видано перший Дреперівський каталог зоряних спектрів (понад 10 000) на основі гарвардської класифікації, який використовують дотепер (Е. Пікерінг, А. Морі та ін.)
- 1894 А. А. Белопольський (Росія) відкрив періодичні зміни променевих швидкостей у цефеїд
- 1895 В. К. Цераський (Росія) експериментально встановив нижню межу температури поверхні Сонця в 3500 К.
- 1900 Т. Чемберлін та Ф. Мультион (США) висловили планетезимальну гіпотезу походження планетної системи
- 1903 К. Е. Ціолковський (Росія) у книжці «Дослідження світових просторів реактивними приладами» виклав теорію руху ракети з урахуванням зменшення її маси в процесі руху, обґрунтував можливість застосування ракет для космічних польотів
- 1904 Йоганн Гартманн (Німеччина) відкрив міжзоряні лінії поглинання (кальцію) у спектрах зір
- 1905 Альберт Ейнштейн створив спеціальну теорію відносності, а також розвинув ідею Макса Планка (1900 р.) про квантову природу світла
- 1905 Ейнар Герцшпрунг (Данія) дійшов висновку про необхідність відрізнити зорі-гіганти і зорі-карлики; цю роботу продовжив Генрі Рессел (США), що у підсумку (1911–1914 рр.) привело до побудови діаграми спектр–світність, яка відіграє важливу роль при розгляді проблем внутрішньої будови та еволюції зір
- 1906 Карл Шварцшильд (Німеччина) створив теорію променистої рівноваги, що стала основою подальшої розробки теорії внутрішньої будови зір
- 1907 Роберт Емден (Швейцарія) у монографії «Газові кулі» виклав загальну теорію рівноваги газової кулі

- 1908– Відкриття прямої пропорційності між періодом та видимою зоряною величиною для цефеїд з Малої Магелланової Хмари (Г. Лівітт, США) і розробка на цій основі методу встановлення відстаней за співвідношенням «період–світність» для цефеїд (Е. Герцшпрунг, Х. Шеплі)
- 1908 Джордж Хейл (США) відкрив магнітне поле Сонця (сонячних плям)
- 1909 К. Болін (Швеція) висловив думку, за якою скупчення кулястих зоряних скупчень на межі сузір'їв Стрільця, Скорпіона та Змієносія (що відкрите Дж. Гершелем) вказує місцезнаходження центра Галактики
- 1912 Весто Слайфер (США) розпочав фотографування спектрів спіральних туманностей, що привело (у 1929 р.) до відкриття «червоного зміщення» у спектрах галактик
– В. Гесс і В. Колхерстер (Австрія) під час польоту на повітряній кулі відкрили космічні промені
- 1913 Нільс Бор (Данія) розробив теорію будови атома водню, що дозволило ототожнити серії ліній у зоряних спектрах
- 1915 Визначення густини Сиріуса-В і, внаслідок цього, виявлення існування зір – білих карликів (У. С. Адамс, США)
- 1916 А. Ейнштейн завершив загальну теорію відносності
– Артур Еддінгтон (Англія) заклав основи сучасної теорії внутрішньої будови зір
– К. Шварцшильд отримав перший точний розв'язок рівнянь ЗТВ для сферичного випадку розподілу маси
- 1917 Побудова перших релятивістських моделей Всесвіту (А. Ейнштейн, В. де Сіттер)
- 1918 Харлоу Шеплі (США) встановив, що Сонце перебуває на третині відстані від центра до краю Галактики (тодішня оцінка – 50 000 світлових років, теперішня – 30 000 св. років)
- 1918– Вийшов у світ фундаментальний «Каталог Генрі Дрепера» (HD), 1924 у дев'яти томах якого є відомості про зоряні величини і спектри 225 300 зір
- 1919 Експериментальне підтвердження одного з трьох ефектів ЗТВ: виявлено, під час повного сонячного затемнення, відхилення світлових променів зір в полі тяжіння Сонця (А. Еддінгтон і Ф. Дайсон)
- 1920 Здійснено перший прямий вимір діаметра зорі (Бетельгейзе) за допомогою інтерферометра (А. Майкельсон, США)
– 26.04. «Велика суперечка» про розміри Галактики і природу спіральних туманностей (Х. Шеплі та Г. Кертис у Вашингтоні)

- 1920– Мегнад Саха (Індія) створив теорію іонізації атомів, яку зразу ж
1925 було застосовано для з'ясування фізичних умов у зоряних
атмосферах
- 1922 Б. П. Герасимович (Україна) висловив думку про термодинамічну
незрівноваженість речовини у планетарних туманностях та про їх
походження внаслідок катастрофічного викиду або поступового
стікання матерії з нестационарних зір
– О. О. Фрідман (Росія) у статті «Про кривину простору» побудував
модель еволюціонуючого Всесвіту, в якій відстані між галакти-
ками змінюються з часом
- 1923 Дж. Хейл виявив 22-річний період магнітної активності Сонця –
змінність полярності сонячних плям
- 1923– Е. Хаббл (США) розділив на окремі зорі зовнішні частини туман-
1924 ності Андромеди, дослідив виявлені там змінні зорі – цефеїди і
остаточно довів, що так звані спіральні туманності є насправді
далекими позагалактичними зоряними системами
- 1925 Е. Хаббл розробив першу класифікацію галактик за їх зовнішнім
виглядом («камертонна діаграма Хаббла»)
- 1926 Бертіль Ліндبلاد (Швеція) розвинув теорію обертання Галактики
та оцінив період її обертання
- 1927 Жорж Леметр (Бельгія), пояснюючи радіальні швидкості галак-
тик, висловив припущення, що спостережуваний Всесвіт розши-
рюється від надщільного стану
- 1929 Е. Хаббл сформулював закон пропорційності між швидкістю руху
галактики та її відстанню від спостерігача
– Д. Стронг (США) винайшов спосіб алюмініювання дзеркал
розпиленням у вакуумі
- 1930 13.03. Клайд Томбо (США) повідомив про відкриття дев'ятої
планети Сонячної системи – Плутона (відкрито 19.02)
- 1930 Остаточно доведено існування міжзоряного поглинання світла
(Р. Дж. Трюмплер, США)
- 1931 Карл Янський (США) зареєстрував космічне радіовипромінювання
на довжині хвилі 15 м
- 1932 Фріц Цвіккі (США), застосувавши теорему про віріал до скупчень
галактик, зробив висновок про існування у Всесвіті прихованої
маси
– Л. Д. Ландау (СРСР) висловив гіпотезу про можливість існування
нейтронних зір
- 1934 В. Бааде і Ф. Цвіккі (США) висловили припущення, за яким
внаслідок спалаху Наднової утворюється нейтронна зоря

- 1935 В. А. Амбарцумян (СРСР) обґрунтував «коротку» шкалу віку Галактики, що узгоджувалася з релятивістською теорією
- 1937 Гроут Ребер (США) побудував перший параболічний радіотелескоп і підтвердив (на хвилі 1,8 м) відкриття Янського
- 1938 Ганс Бете (США) і Карл Вейцекер (Німеччина) незалежно розробили теорію синтезу гелію з ядер водню і довели, що ці термоядерні реакції і є джерелом енергії Сонця та інших зір
- 1938– Джордж Гамов (США) розробив першу теорію еволюції зір
- 1940 в припущенні про ядерні джерела енергії
- 1939 Р. Опенгеймер та Х. Снайдер (США) на основі ЗТВ зробили висновки про можливість існування чорних дір
- 1939– Закладено основи космічної електродинаміки (Х. Альвен, 1943 Швеція)
- 1940 Відкриття молекул CN, NH у міжзоряному середовищі (Е. Мак-Келлар, Канада)
- 1940– Карл Сейферт (США) виявив галактики з активними ядрами
- 1943 («сейфертівські галактики»)
- 1941 Д. Д. Максудов (СРСР) розробив меніскову оптичну систему, яка широко використовується і для побудови аматорських телескопів, що мають малі розміри і зручні в експлуатації
- 1942 Г. Ребер склав першу радіокарту неба
- Дж. С. Хей та Дж. Стюарт (Англія) відкрили радіовипромінювання активних зон Сонця (опубліковано у 1946 р.)
- 1946 У США та Угорщині проведено радіолокацію Місяця
- Дж. Хей, С. Парсонс і Дж. Філіпс (Англія) відкрили перше дискретне джерело радіовипромінювання (Лебідь А)
- Реєстрація рентгенівського випромінювання Сонця за допомогою ракетної техніки (Х. Фрідман, США)
- Дж. Гамов створив теорію гарячого Всесвіту
- 1947 Б. В. Кукаркін (СРСР) довів, що різні об'єкти в Галактиці належать до різних підсистем (раніше, в 1943 р. поділ зір Галактики на «населення I і II типу» здійснив В. Бааде у США)
- 1948 В. Б. Ніконов, А. А. Калиняк та В. І. Красовський (СРСР) за допомогою ІЧ-фотографії виявили ядро Галактики
- Відкрито міжзоряну поляризацію світла (У. А. Хілтнер і Дж. Холл, США, В. О. Домбровський, СРСР)
- 1950 Ян Оорт (Нідерланди) висловив гіпотезу про існування на периферії Сонячної системи «кометної хмари»
- 1951 Х. Юен та Е. Парселл (США) експериментально виявили радіовипромінювання нейтрального водню на довжині хвилі 21 см (передбачене у 1944 р. Х. ван де Хюлстом, Нідерланди)

- 1951– Встановлення спіральної структури Галактики за розподілом зір
 1954 раних класів (У. Морган, С. Шарплесс і Д. Остерброк, США) та
 за радіоастрономічними даними (Я. Оорт, Х. ван де Хюлст –
 Нідерланди, Й. С. Шкловський – СРСР)
- 1953 Вальтер Бааде і Рудольф Мінковський (США) вперше ототожили
 дискретні радіоджерела з оптичними об'єктами – «здвоєною»
 галактикою у Лебеді і Крабоподібною туманністю як залишком
 наднової
 – Створено точну UVV-систему зоряної фотометрії (У. Морган,
 Х. Джонсон і Д. Херріс, США)
- 1957 4.10. Запуск в СРСР першого штучного супутника Землі; початок
 розвитку позаатмосферної астрономії та перетворення її у все-
 хвильову
- 1958 Відкриття радіаційних поясів Землі (Дж. ван Аллен, США)
 – М. О. Козирев (СРСР) отримав спектроскопічний доказ вулканічної
 активності Місяця (за спостереженнями кратера Альфонс)
- 1959 13.09. «Луна-2» (СРСР) вперше здійснила жорстку посадку на по-
 верхню Місяця
 – 14.10. «Луна-3» (СРСР) передала на Землю перші фотографії
 зворотного боку Місяця
- 1960 Перші спроби пошуку штучних радіосигналів на хвилі 21 см від
 найближчих зір (Ф. Дрейк, США)
- 1961 12.04. Виведення в СРСР на навколоземну орбіту космічного
 корабля-супутника «Восток» з першим у світі космонавтом на борту
 Юрієм Гагаріним
- 1962 Відкриття першого галактичного джерела рентгенівського випро-
 мінювання – Скорпіон X-1 (Р. Джакконі, Х. Гурський, Ф. Паоліні,
 Б. Россі, США)
 – 14.12. Перші дослідження Венери з КА «Марінер-2» (запуск 27.08,
 США) при прольоті поблизу неї
- 1963 Встановивши факт червоного зміщення в спектрі радіоджерела 3С
 273, Маартен Шмідт (США) відкрив існування квазарів як
 позагалактичних джерел
 – Виявлення радіоліній міжзоряних молекул гідроксилу, перед-
 бачених Й. С. Шкловським у 1949 р.
 – Відкриття нового класу галактик – з УФ-надвишком випромі-
 нювання ядер нетеплового характеру (Б. Є. Маркарян, СРСР)
- 1964 М. С. Кардашов (СРСР) висловив здогад, що компактне радіо-
 джерело в центрі Крабоподібною туманності є нейтронною зорею,
 яка має потужне магнітне поле і велику кутову швидкість обертання

- 1965 Арно Пензіас та Роберт Вілсон (США) зареєстрували реліктове радіовипромінювання, чим було підтверджено модель «гарячого Всесвіту»
- «Марінер-4» (США) передав на Землю перші високоякісні зображення поверхні Марса
- 1966 03.02. «Луна-9» (СРСР) здійснила м'яку посадку на поверхню Місяця і передала на Землю зображення місячного ландшафту
- 31.03. «Луна-10» (СРСР) стала першим штучним супутником Місяця
- 1967 13.10. «Венера-4» (СРСР) здійснила посадку на поверхню Венери, провівши дослідження параметрів атмосфери планети
- Відкрито перший пульсар – джерело імпульсного радіовипромінювання (Е. Хьюїш, Дж. Белл та ін., Англія) – А. Д. Сахаров (СРСР) висловив ідею, за якою баріонна асиметрія Всесвіту обумовлена порушенням СР-інваріантності і незберіганням баріонного заряду
 - В. С. Імшенник, Д. К. Надьожин і Л. Н. Іванова (СРСР) розробили гідродинамічну теорію гравітаційного колапсу ядра зорі в нейтронну зорю з урахуванням переносу енергії нейтринним випромінюванням
- 1968 24.12. Перший обліт Місяця людьми (Ф. Борман, Дж. Ловелл, А. Андерс, США) на КА «Аполлон-8»
- 1969 20.07. Місячна кабіна «Аполлон-11» (США) здійснила посадку на поверхню Місяця і 21.07. космонавти Ніл Армстронг і Едвін Олдрін вперше ступили на Місяць
- 1970 20.09. «Луна-16» (СРСР) здійснила м'яку посадку на Місяць, збрала зразки місячного ґрунту і доставила їх на Землю
- 10.11. «Луна-17» доставила на Місяць «Луноход-1», упродовж 11 місячних діб він пройшов 10,5 км, вивчаючи рельєф та характеристики місячного ґрунту
- 1971 02.12. Перша м'яка посадка на Марс («Марс-3», СРСР)
- 1974 29.03. «Марінер-10» (США) пройшов на невеликій (у 1975 р. – 16.03. усього 320 км) відстані від поверхні Меркурія і передав на Землю знімки, на яких видно численні кратери
- Стівен Хокінг (Англія) зробив висновок про «випаровування» чорних дір
 - А. Б. Сєверний, В. А. Котов і Т. Т. Цап (КрАО) відкрили глобальні пульсації Сонця з періодом 160 хв та амплітудою зміни радіуса ± 10 км
- 1975 Відкрито спалахуючі джерела рентгенівського випромінювання – барстери (США)

- 1975 Відкрито істотну неоднорідність розподілу галактик у просторі – наявність велетенських «порожнеч» – воїдів (Дж. Кінкаріні, Г. Руд, США)
 – 22.10. і 25.10. Спускарльні апарати «Венери-9» та «Венери-10» (СРСР) передали перші зображення поверхні Венери
- 1976 20.07. і 04.09. Посадочні відсіки «Вікінга-1» та «Вікінга-2» (США) здійснили м'яку посадку на поверхню Марса, передали на Землю зображення поверхні планети і провели серію експериментів для виявлення життя (висновок негативний)
- 1977 10.03. Під час спостережень покриття Ураном однієї із зір відкрито кільця Урана (групи астрономів США, Австралії, Індії та Південної Африки)
 – 20.08. Запуск АМС «Вояджер-2» (США), за допомогою якого проведено дослідження (під час прольоту) систем планет: Юпітера (1979), Сатурна (1981), Урана (1986) і Нептуна (1989)
- 1978 22.06. Дж. Крісті (США) відкрив супутник Плутона – Харон
- 1979 При дослідженні «Вояджерами» (1 і 2, США) з прольотних траєкторій Юпітера і системи його супутників виявлено кільце планети, існування якого було передбачене С. К. Всехсвятським (Україна) у 1960 р.
- 1980 Закладання основ теорії інфляційного Всесвіту (А. Гут – США, А. Д. Лінде – СРСР)
- 1986 24.01. «Вояджер-2» пройшов на близькій відстані від Урана і передав зображення планети, її супутників і кільця, відкрито 10 нових супутників
 – Березень. Проведено дослідження комети Галлея космічними апаратами («Вега-1» та «Вега-2» – СРСР, «Джотто» – країни Західної Європи)
- 1989 24.08. «Вояджер-2» пройшов на відстані близько 5000 км від планети Нептун, передав зображення її поверхні, відкрив два кільця і шість її нових супутників
- 1993 Відкрито в астероїда Іда супутник Дактиль (космічний апарат «Галілео»)
- 1994 Відкрито лід на південному полюсі Місяця (космічний апарат «Клементина»)
 – Відкрито першу позасонячну планету біля пульсара PSR 1257+12
- 1995 Повідомлення про відкриття близько 15 планет в інших зоряних системах
- 1997 Початок введення в дію Дуже Великого Телескопа Європейської південної обсерваторії (*Very Large Telescope – ESO*), який складається з 4-х дзеркал діаметром 8,2 м кожне

- Введення в дію багатодзеркального телескопа (*MMT*) Смітсонівського інституту і Аризонського університету США (дзеркало діаметром 6,5 м)
- Введення в дію телескопа Хоббі-Еберлі (*Hobby Eberly Telescope*) Макдональдської обсерваторії, Техаського, Старфордського, Пенсильванського університетів США, Мюнхенського, Геттінгенського університетів Німеччини (дзеркало діаметром 11 м)
- Отримано докази широкого розповсюдження води у Космосі (результати ISO)
- Відкрито явище обертання чорної діри (центр НАСА в Ханставілі)
- Відкриття коричневого карлика
- Відкриття води на супутнику Юпітера Європі – КА «Галілео», (пізніше аналіз інфрачервоних спектрів показав, що замість води там є розчин сірчаної кислоти)
- Відкриття біля 30 вулканів на супутнику Юпітера Іо (КА «Галілео»)
- 1998 Відкрито новий тип небесних об'єктів – магнетар
 - Відкрито чорну діру в центрі Молочного Шляху на базі обробки вимірів параметрів руху 200 зір у центрі Галактики, які були проведені у 1992–1998 рр. співробітниками інституту позаземних цивілізацій ім. Макса Планка в Гаршинзі (Німеччина)
 - Підтверджено космологічний статус джерела гама-сплесків
 - Підтвердження факту прискорення розширення Всесвіту
 - Підтвердження факту наявності води на Місяці (*Lunar Prospector*)
- 1999 Відкрито найближчу до Землі Наднову (відстань 600 світлових років)
 - Повторне відкриття загублених у 1981 році супутників Урана: Офелії і Корделії
 - З початком роботи над опрацюванням знімків полярних шапок Марса, отриманих за допомогою КА «*Mars Orbital Surveyor 4*», започаткована нова наука (розділ астрономії) – космічна гляціологія

**ДАТИ ЗАСНУВАННЯ ВЕЛИКИХ АСТРОНОМІЧНИХ
ОБСЕРВАТОРІЙ ТА НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ ІНСТИТУТІВ**

- 2000 Побудована найдавніша кам'яна астрономічна обсерваторія до н.е. Стоунхендж (Південна Англія)
- 1100 Заснована в Китаї Чжоугунська обсерваторія, залишки якої до н.е. збереглися до нашого часу
- 829 н.е. Заснована астрономічна обсерваторія в Багдаді
- 1154 Заснована Пекінська обсерваторія
- 1259 У Південному Азербайджані почато будівництво Марагинської обсерваторії (проіснувала до середини XIV ст.)
- 1384 В Китаї поблизу Нанкіна, на Пурпурній горі побудована одна з кращих на той час обсерваторій
- 1425 В околицях Самарканда під керівництвом Улугбека побудовано обсерваторію, основним інструментом якої був квадрант радіусом 40,2 м
- 1471 Регіомонтан заснував одну з перших обсерваторій в Європі – Нюрнберзьку, оснащену високоточними кутомірними інструментами
- 1580 Тіхо Браге закінчив будівництво обсерваторії «Ураніборг» («Палац астрономії») на о. Вен поблизу Копенгагена, основним інструментом якої був квадрант радіусом 2 м
- 1641 Ян Гевелій побудував обсерваторію в Гданську, серед інструментів якої були астрономічні труби з фокусною відстанню до 45 м
- 1671 Заснована Паризька обсерваторія – перша такого типу державна установа в Європі. Тепер до її складу входять Медонська астрономічна обсерваторія і радіоастрономічна обсерваторія в Нансі
- 1675 У передмісті Лондона заснована Гринвіцька обсерваторія. У 1884 р. меридіан, що проходить через її пасажний інструмент, було прийнято за початковий для відліку довгот. У 1954 р. її перенесено в замок Херстмонсо, за 70 км на південний схід від Лондона у сільську місцевість
- 1700 Заснована Берлінська обсерваторія. У 1913 р. вона перенесена в Бабельсберг
- 1706 Засновано обсерваторію при Петербурзькій АН
- 1753 Засновано Вільнюську обсерваторію
- 1792 Засновано Краківську обсерваторію
- 1809 Засновано Тартуську обсерваторію. У 1948 р. її було включено в систему АН Естонії, у 1964 р. переведено в Тиравере
- 1820 На мисі Доброї Надії засновано Південно-Африканську обсерваторію

- 1830 Засновано Московську університетську обсерваторію (в 1931 р., увійшла до складу Державного астрономічного інституту ім. П. К. Штернберга Московського університету)
- 1839 Засновано Пулковську обсерваторію (тепер Головна астрономічна обсерваторія Російської АН)
- 1840 Засновано Гарвардську обсерваторію (Кембридж, США). З 1975 р. об'єднано зі Смітсонівською астрофізичною обсерваторією в Кембриджі
- 1842 Засновано Морську обсерваторію у Вашингтоні. З 1964 р. вона має станцію у Флагстаффі (штат Аризона)
- 1845 Закінчено будівництво обсерваторії Київського університету
- 1871 Засновано обсерваторію Одеського університету
- 1872 Засновано астрофізичну обсерваторію в Арчетрі (Італія)
- 1873 Засновано Ташкентську АО. На її базі в 1966 р. створено Астрономічний інститут АН Узбекистану. Має високогірну базу, йому підлягає Китабська широтна станція
- 1874 Створено Потсдамську астрофізичну обсерваторію Берлінської АН
- 1881 Засновано АО Петербурзького університету
- 1881 В Піренеях, поблизу вершини Пік-дю-Міді, заснована метеорологічна обсерваторія, на базі якої згодом створено АО, у 1903 р. її було передано Тулузькому університету
- 1888 Засновано АО Харківського університету
- 1888 У США, на вершині гори Гамільтон створено Лікську АО Каліфорнійського університету. Лабораторія АО з 1966 р. знаходиться в м. Санта-Крус
- 1890 У Кембриджі засновано Смітсонівську астрофізичну обсерваторію. У 1975 р. вона об'єднана з Гарвардською АО
- 1897 Засновано Йеркську АО Чиказького університету. У цьому ж році там встановлено найбільший візуальний рефрактор з $D = 102$ см
- 1898 Засновано АО в Ондржейові (Чехія)
- 1901 Відкрито АО ім. В. П. Енгельгардта (АО Казанського університету)
- 1904 При Інституті Карнегі засновано АО Маунт-Вілсон. Головним інструментом з 1918 по 1984 р. був 2,54-метровий рефлектор. У 1948–1980 рр. АО організаційно об'єднана з АО Маунт-Паломар. З 1980 р. вона об'єднана з АО Лас-Кампанас (Чилі), яка також належить інституту Карнегі
- 1907 Відроджено роботу АО Львівського університету (є відомості про її існування вже в 1769 р.)
- 1908 Організовано Симеїзьке відділення Пулковської АО, яке в 1945 р. перетворено у Кримську астрофізичну обсерваторію

- 1918 Відкрито Астрофізичну обсерваторію поблизу м. Вікторія (Канада, Британська Колумбія). Головні інструменти – 1,85- та 1,22-метрові рефлектори
- 1919 У Петербурзі створено Астрономічний інститут, який у 1943 р. реорганізовано в Інститут теоретичної астрономії АН
- 1925 В Австралії, поблизу Канберри, відкрито АО Маунт-Стромло. Головні інструменти: 1,88-, 1,27-, 1,02- і 0,75-метрові рефлектори
- 1926 Засновано Полтавську гравіметричну обсерваторію АН України
- 1931 Засновано Астрономічний інститут ім. П. К. Штернберга (ГАИШ), що об'єднав АО Московського університету, Астрономо-геодезичний інститут університету і Державний астрофізичний інститут у Москві. Найбільший телескоп – 1,25-метровий рефлектор встановлено на Південній станції в Криму
- 1932 В Душанбе засновано АО, яку в 1958 р. реорганізовано в інститут астрофізики АН Таджикистану. До складу інституту входить Гіссарська АО. Головний інструмент – 0,7-метровий рефлектор. На високогірній базі на г. Санглок (Памір) є 1-метровий рефлектор
- 1932 Засновано Абастуманську астрофізичну обсерваторію АН Грузії. Головні інструменти: 2- і 1,25-метрові рефлектори
- 1936 Засновано АО у Верхньому Провансі (Франція). Головні інструменти: 1,93-, 1,52- і 1,2-метрові рефлектори
- 1939 Побудовано АО Мак-Дональд Техаського університету
- 1944 Засновано Головну АО АН України (Київ), головні інструменти: 2- і 0,7-метрові рефлектори. ГАО має спостережувальні бази на піку Терскол (Кавказ) і на г. Майданак (Узбекистан)
- 1945 На базі Симеїзького відділення Пулковської АО створено Кримську астрофізичну обсерваторію АН. Головний інструмент: 2,6-метровий рефлектор, введений в дію у 1961 р., 1,22- та 0,64-метрові рефлектори, баштовий сонячний телескоп, 22-метровий радіотелескоп та установки для дослідження космічних променів.
- 1946 На схилі гори Арагац, поблизу с. Бюракан, засновано Бюраканську астрофізичну обсерваторію АН Вірменії. Основні інструменти: 2,6- і 0,5-метрові рефлектори, 1-метровий телескоп Шмідта
- 1947 Засновано АО Маунт-Паломар Каліфорнійського технологічного інституту (США). Основні інструменти: 5,08-метровий рефлектор (введено в дію у 1949 р.), 1,22-метровий телескоп Шмідта. З 1980 р. об'єднана з сонячною АО Біг-Бір Каліфорнійського технологічного інституту

- 1950 Засновано Астрофізичний інститут АН Казахстану. На гірській АО інституту встановлено 50-см телескоп Максудова і 70-см рефлектор
- 1956 Створена Національна радіоастрономічна обсерваторія у Грін-Бенк (Західна Вірджинія, США), де в 1959 р. встановлено 26-метровий, у 1962 р. – 42-метровий і в 1968 р. – 90-метровий радіотелескопи. У 1988 р. ця остання антена зруйнована ударом вітру, на її місці в 1995 р. встановлено нову — 110 × 100 метрів
- 1957 В обсерваторії Джодрел-Бенк Манчестерського університету (Англія) встановлено найбільший на той час радіотелескоп з параболічною антеною 76 метрів
- 1960 Організована Радіоастрономічна обсерваторія Латвійської АН. Головні інструменти: 120-см телескоп Шмідта, два 55-см рефлектори, 10-метровий радіотелескоп. АО знаходиться в с. Балдоне
- 1960 На горі Кітт-Пік (штат Аризона, США) відкрито Національну АО США. Основні інструменти: 3,8- та 2,13-метрові рефлектори, 1,6-метровий нахилений сонячний телескоп з 2,08-метровим геліостатом
- 1960 Створена Шемахинська астрофізична обсерваторія АН Азербайджану. Основні інструменти: 2- і 0,7-метрові рефлектори, горизонтальний сонячний телескоп
- 1960 У Таутенбурзі, поблизу Йєни, заснована АО ім. К. Шварцшильда. Основний інструмент – 2-метровий телескоп Шмідта
- 1961 Введено в дію 64-метровий радіотелескоп австралійської Національної радіоастрономічної обсерваторії в Парксі
- 1965 У Москві засновано Інститут космічних досліджень АН СРСР
- 1966 Засновано Європейську південну обсерваторію (Ла-Сілла, Чилі) Телескопи: 3,6-, 1,52- і 1-метровий рефлектори
- 1967 На горі Семиродники (висота 2100 м) поблизу станиці Зеленчуцька (Північний Кавказ) засновано Спеціальну астрофізичну обсерваторію АН. Основний інструмент – 6-метровий рефлектор (введено в дію 1975 р.), а також радіотелескоп РАТАН-600
- 1967 Відкрито Міжамериканську АО Серро-Тололо (поблизу м. Ла-Серена, Чилі), висота 2150 м. Основні інструменти: рефлектори 4 м, 1,5 м і 0,9 м.
- 1970 На вершині Мауна-Кеа (о. Гаваї, висота 4200 м) відкрито АО Інституту астрономії Гавайського університету (США). Основні інструменти 10-м, 3,8-м, 3,6-м, 3-метровий рефлектори
- 1972 Введено в дію 100-метровий параболічний радіотелескоп Інституту радіоастрономії ім. М. Планка в Бонні. Телескоп встановлено на спостережній станції в Еффельсберзі

- 1974 Відкрито Англо-Австралійську АО на горі Сайдінг-Спринг (Австралія, висота 1160 м). Основні інструменти: 3,9-метровий рефлектор, 1,24-метровий телескоп Шмідта
- 1979 Відкрито АО в горах Сан-Педро-Мартір (Мексика), основні інструменти 2,2- і 1,5-метрові рефлектори
- Відкрито АО Калар-Альто (Іспанія, висота 2160 м). Інструменти: 3,5-, 2,2-, 1,5- і 1,2-метрові рефлектори
 - Розпочато будівництво АО на горі Роке-де-лос-Мучачос (о. Ла-Пальма, висота 2400 м) на Канарських о-вах. АО побудована за угодою між Великобританією, Іспанією, Данією та Швецією. Основні інструменти: 4,2-м і 2,54-м рефлектори
- 1979 В США на горі Хопкінс (штат Аризона) введено в дію багатодзеркальний телескоп (усього – шість) з автоматичною їх настройкою, еквівалентний рефлектору з $D = 4,5$ м
- 1980 На рівнині Сан-Огастин, поблизу Сокорро (штат Нью-Мексико, США, завершено будівництво «дуже великої антени» (VLA) з 27 параболоїдів діаметром по 27 м.
- 1990 Виведено на орбіту 1,5-метровий «Телескоп ім. Е. Хаббла» (США)

Додаток 3

ДАТИ ЗАСНУВАННЯ НАЙВАЖЛИВІШИХ МІЖНАРОДНИХ І НАЦІОНАЛЬНИХ АСТРОНОМІЧНИХ ТОВАРИСТВ ТА АСТРОНОМІЧНИХ ВИДАНЬ

- 1663 Засновано Лондонське Королівське товариство
- 1671 Заснована Паризька академія наук
- 1678 Ж. Пікар заснував французький астрономічний щорічник «*Connaissance des temps*», який виходить і тепер
- 1724 Заснована Петербурзька академія наук
- 1766 Невіл Маскелайн заснував Британський астрономічний щорічник. Його назва «*The Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris*» (по 1960 р.), «*The Astronomical Ephemeris*» (по 1980 р.), назва після 1980 р. – «*The Astronomical Almanac*». З 1960 р. видається спільно з Морською обсерваторією США
- 1774 Йоганн Боде заснував німецький астрономічний щорічник «*Berliner astronomisches Jahrbuch*» (виходив до 1959 р.)
- 1795 В Парижі створено Бюро довгот, що видає морські та аеронавігаційні щорічники
- 1820 Засноване Лондонське Королівське астрономічне товариство
- 1821 Розпочато видання німецького астрономічного журналу «*Astronomische Nachrichten*», що триває і тепер
- 1849 Заснований «*Astronomical Journal*», видається дотепер

- 1863 У Гейдельберзі засноване Німецьке астрономічне товариство
- 1877 У Лондоні започатковано видання журналу «*Observatory*»
- 1882 Каміль Фламмаріон заснував науково-популярний журнал «*L'Astronomy*», видається дотепер
- 1887 Засноване Французьке астрономічне товариство
- 1888 Заснований Нижньоновгородський гурток аматорів фізики й астрономії
- 1889 Засноване Тихоокеанське астрономічне товариство
- 1890 Засноване Російське астрономічне товариство (у 1932 р. ввійшло до складу Всесоюзного астрономо-геодезичного товариства)
- 1894 З'явився друком «Русский астрономический календарь на 1895 г.» (Нижній Новгород, Росія), у 1934 р. перейменований в «Астрономический календарь»
- 1895 Заснований у Чикаго «*Astrophysical Journal*», видається дотепер
- 1897 Засноване Американське астрономічне товариство
- 1899 Заснований «*Astronomischer Jahresbericht*», – щорічний бібліографічний довідник світової астрономічної літератури, який з 1969 р. під назвою «*Astronomy and Astrophysics Abstracts*» видається Астрономічним обчислювальним інститутом у Гейдельберзі
- 1904 Заснований Міжнародний союз з дослідження Сонця
- 1912 В Росії розпочато видання журналу «Мироведение» (припинив існування в 1938 р.)
- 1919 На основі Міжнародного союзу з дослідження Сонця створено Міжнародний астрономічний союз (МАС)
- 1921 В Росії вийшов перший «Астрономический ежегодник» на 1922 р.
- 1921 У Лейпцігу розпочато видання науково-популярного журналу «*Sterne*»
- 1922 Відбувся I з'їзд МАС. Періодичність з'їздів – 3 роки
- 1924 Засновано «Русский астрономический журнал» (з 1928 р. – «Астрономический журнал»)
- 1936 Створено «Астрономический совет при АН СССР»
- 1940 В Москві засновано «Астрономический циркуляр»
- 1941 Внаслідок об'єднання журналів «*Sky*» і «*Telescope*», розпочато у США видання науково-популярного журналу «*Sky and Telescope*»
- 1950 В Парижі відбувся I конгрес Міжнародної астронавтичної федерації
- 1953 В Москві розпочато видання реферативного журналу «Астрономия»
- 1958 Створено Міжнародний комітет з дослідження космічного простору (КОСПАР)

- 1959 Заснований міжнародний журнал «*Planetary and Space Science*»
- 1962 Заснований міжнародний журнал «*Icarus*», присвячений дослідженням тіл Сонячної системи
- 1962 Заснований міжнародний журнал «*Space Science Reviews*»
- 1964 В Москві розпочато видання реферативного журналу «Исследование космического пространства»
- 1965 У Москві розпочато видання науково-популярного журналу «Земля и Вселенная»
- 1965 В Єревані засновано науковий журнал «Астрофизика»
- 1967 У Києві розпочато видання збірника «Астрометрия й астрофизика», з 1985 р. виходить журнал «Кінематика і фізика небесних тіл»
- 1968 Засновано міжнародний науковий журнал «*Astrophysics and Space Science*»
- 1969 На базі шести астрономічних журналів, що виходили у Франції, ФРН, Швеції та Нідерландах, засновано європейський міжнародний журнал «*Astronomy and Astrophysics*»
- 1969 Засновано міжнародний журнал «*Celestias Mechanics*»
- 1990 Засноване Європейське астрономічне товариство

Додаток 4

ІМЕНА УКРАЇНИ В КОСМОСІ *

За встановленою традицією назви окремим деталям на поверхні планет – кратерам, гірським хребтам, долинам та іншим утворенням – надаються за рішенням Міжнародного астрономічного союзу, назви комет походять від прізвищ їхніх відкривачів і ще містять в собі рік та порядковий номер відкриття комети в даному році. Право давати назви новим малим планетам (астероїдам) надається їхнім відкривачам після ретельної перевірки всіх даних у Міжнародному центрі малих планет. Крім того, астероїду надається порядковий номер, який визначає його місце в загальному каталозі малих планет.

Нижче наведено назви космічних об'єктів і їхніх деталей (повніші дані є в книзі «Імена України в космосі»), які пов'язані з Україною і тепер занесені в спеціальні реєстри.

ПЛАНЕТИ

Меркурій

* Матеріал цього Додатка підготовлений А. О. Корсунь (див. «Астрономічний календар 1999». К., 1998, с. 196–202.

Один з кратерів названо іменем Тараса Шевченка, а одну з долин – Сімеїз на честь міста в Криму, біля якого на горі Кошка знаходиться відома Сімеїзька астрономічна обсерваторія.

Венера

На цій планеті деталям її поверхні надають лише жіночі імена. Серед них є кратери *Аксентьева* – на честь чл.-кор. АН України З. М. Аксентьевої (1900–1969), директора Полтавської гравіметричної обсерваторії; *Федорець* – на честь В. О. Федорець (1923–1976), дослідниці фізики Місяця та Сонця, співробітниці Астрономічної обсерваторії Харківського державного університету (АО ХДУ).

Марс

Кратери *Барабашов* – на честь академіка М. П. Барабашова (1884–1971) директора АО ХДУ, дослідника планет та Місяця; *Фесенков* – на честь академіка В. Г. Фесенкова (1889–1972), одного з засновників астрофізичних досліджень в СРСР, уродженця м. Новочеркаська, співробітника Харківського університету (1915–1920); *Герасимович* – на честь астрофізика Б. П. Герасимовича (1889–1937), випускника, а згодом співробітника Харківського університету, директора Пулковської обсерваторії; *Струве* – на честь дослідника в галузі астроспектроскопії та подвійних зір О. Л. Струве (1897–1963), співробітника Харківського університету, *Сімейкін* – на честь дослідника з фізики планет Б. П. Сімейкіна (1900–1938), співробітника АО ХДУ. Є на Марсі кратери *Євпаторія* та *Фастів* на честь українських міст.

Юпітер

Кратер на супутнику Юпітера Тесіс названо *Нестор*, на честь славетного давньокіївського літописця.

Місяць

Різним утворам на поверхні Місяця надають імена видатних діячів минулих часів, а також космонавтів (астронавтів). Зокрема кратери мають назви:

Євдокимов – на честь М. М. Євдокимова (1868–1940), директора АО ХДУ.
Ганський – на честь О. П. Ганського (1870–1908), астронома Сімеїзької обсерваторії, дослідника Сонця.

Гаврилов – на честь І. В. Гаврилова (1928–1982), астронома Головної астрономічної обсерваторії НАН України, фахівця в галузі селенодезії та фото графічної астрометрії.

Герасимович – на честь астрофізика Б. П. Герасимовича (1889–1937), директора Пулковської обсерваторії, уродженця м. Кременчука, випускника Харківського університету, репресованого у 1937 р.

- Кондратюк* – на честь одного з піонерів космонавтики Ю. В. Кондратюка (Шаргея Олександра Гнатовича) (1897–1942), уродженця м. Полтави.
- Корольов* – на честь генерального конструктора ракетно-космічних систем С. П. Корольова (1907–1966), уродженця м. Житомира.
- Неуймін* – на честь Г. М. Неуйміна (1886–1946), астронома Сімеїзької обсерваторії та її директора у 1925–1931, 1936–1941 рр.
- Орлов* – на честь відомого геофізика і астронома, академіка О. Я. Орлова (1880–1954), засновника Полтавської гравіметричної та Головної астрономічної обсерваторій НАН України та на честь дослідника комет чл.-кор. АН СРСР С. В. Орлова (1880–1958).
- Вернадський* – на честь першого президента Академії наук України, академіка В. І. Вернадського (1863–1945).
- Яковкін* – на честь дослідника Місяця, чл.-кор АН УРСР А. О. Яковкіна (1887–1974), директора Головної астрономічної обсерваторії АН УРСР в 1952–1959 рр.
- Янгель* – на честь генерального конструктора космічних систем академіка М. К. Янгеля (1911–1971)

КОМЕТИ

В космічних просторах перебувають у своєму віковічному польоті такі комети, названі на честь їхніх відкривачів – астрономів з України: Г. Неуйміна, Г. Шайна, М. Черниха, К. Чурюмова, С. Герасименко та аматора астрономії Б. М. Скоритченка.

МАЛІ ПЛАНЕТИ (АСТЕРОЇДИ)

Номер і назва планети в каталозі криття, його автор*	Походження назви	Рік відкриття
748 Сімеїза	перша планета, що була відкрита в Сімеїзі	1913 CN
749 Мальцовія	М. С. Мальцов (1848–1939), аматор астрономії, засновник Сімеїзької обсерваторії	1913GN
814 Таврида	стара назва Криму	1916 GN
951 Гаспра	курортне містечко в Криму	1916 GN
1048 Феодосія	місто в Криму	1924 KR
1074 Белявська	С. І Белявський (1883–1953) – астроном, директор Сімеїзької обсерваторії	1925 SB

Номер і назва планети в каталозі криття, його автор*	Походження назви	Рік відкри-
	у 1909–1925 рр.	
1129 Неуйміна	Г. М. Неуймін (1886–1946) – директор Сімеїзької обсерваторії у 1925–1931 та 1936–1941 рр.	1929PP
1140 Кримея	півострів Крим	1929 GN
1475 Ялта	м. Ялта в Криму	1935 PS
1648 Шайна	Подружжя астрономів Г. А. Шайн і П. Ф. Шайн; академік Г. А. Шайн (1892–1956) – директор Сімеїзької обсерваторії у 1925–1945 рр., засновник КрАО, астрофізик	1935 PS
1653 Яхонтовія	Н. С. Самойлова-Яхонтова (1896–1963), дослідник з теоретичної астрономії, випускниця Харківського університету	1937 GN
1709 Україна	Держава Україна	1925 GS
1725 КрАО	Кримська астрофізична обсерваторія	1930 GN
1737 Северний	академік А. Б. Северний (1913–1987) директор КрАО у 1952–1987 рр., дослідник Сонця	1966 LC
1783 Альбіцький	В. О. Альбіцький (1891–1952), директор Сімеїзької обсерваторії	1935 GN
1855 Корольов	академік С. П. Корольов (1907–1966) генеральний конструктор ракетно-космічних систем	1969 LC
1857 Пархоменко	П. Г. Пархоменко (1886–1970), астроном Сімеїзької обсерваторії та АО ХДУ	1971 TS
1874 Кацивелія	містечко в Криму біля Сімеїза	1924 SB
1903 Аджимушкай	на честь героїчного підземного гарнізону, який воював в Аджимушкайських каменоломнях (поблизу Керчі) під час Другої світової війни	1972 TS
1956 Артек	піонерський табір «Артек»	1969 LC
2006 Полонія	О. І. Казимирчак-Полонська (1902–1992), дослідник з теорії руху малих тіл Сонячної системи, уродженка с. Селець Волинської губ., закінчила Львівський університет	1973 NC

Номер і назва планети в каталозі криття,	Походження назви	Рік відкри-
2092 його автор Сумана	на честь м. Суми	1969 LC
2093	Генічеськ на честь м. Генічеськ	1971 TS
2121	Севастополь на честь 200-річчя м. Севастополя	1971 TS
2126	Герасимович на честь Б. П. Герасимовича (1897–1937), відомого астронома	1970 TS
2141	Сімферополь на честь 200-річчя м. Сімферополя	1970 TS
2164	Ляля О. К. Убийвовк (1918–1942) – студентка астрономічного відділу Харківського університету, партизанка, загинула в Полтаві	1972 NC
2171	Київ на честь 1500-річчя Києва	1973 TS
2216	Керч місто-герой Керч	1971 TS
2217	Елтіген на честь Елтігенського десанту, який воював поблизу Керчі у 1943 р.	1971 TS
2227	Струве О. Л. Струве (1897–1963), відомий астроном, уродженець м. Харкова, закінчив Харківський університет	1977 NC
2237	Мельников О. О. Мельников (1912–1982), астрофізик, випускник Харківського університету	1977 NC
2238	Стешенко академік М. В. Стешенко (нар 1927), директор КраО з 1987 р., дослідник Сонця	1972 NC
2259	Софіївка парк-заповідник Софіївка в м. Умані	1971 BV
2286	Фесенков академік В. Г. Фесенков (1889–1972), уродженець м. Новочеркаська	1977 NC
2325	Черних М. С. Черних (нар. 1931), кримський астроном, відкривач та дослідник малих планет	1979 AM
2327	Гершберг Р. Є. Гершберг (нар. 1937), кримський астрофізик	1976 BV
2361	Гоголь М. В. Гоголь (1809–1852), російський письменник, уродженець м. Полтави	1974 NC
2386	Никонов В. Б. Никонов (1908–1987), кримський астрофізик	1974 LC
2408	Астапович І. С. Астапович (1908–1976), київський астроном, дослідник астероїдів і комет	1978 NC
2427	Кобзар поет Т. Г. Шевченко (1814–1961)	1976 NC
2428	Каменяр письменник І. Я. Франко (1856–1916)	1977 NC
2431	Сковорода Г. С. Сковорода (1722–1794), філософ,	1978 NC

Номер і назва планети в каталозі криття, його автор*	Походження назви	Рік відкри-
	поет, педагог	
2498 Цесевич	чл.-кор. АН УРСР В. П. Цесевич (1907–1983), директор Одеської обсерваторії, дослідник змінних зір	1977 NC
2508 Алупка	м. Алупка	1977 NC
2606 Одеса	м. Одеса	1976 NC
2616 Леся	поетеса Леся Українка (1871–1913)	1970 NC
2627 Чурюмов	К. І. Чурюмов (нар. 1937 р.), кийвський дослідник і відкривач комет	1978 NC
2701 Херсон	м. Херсон	1978 NC
2721 Всехсвятський	С.К.Всехсвятський (1905–1984), кийвський астрофізик, спеціаліст з кометної астрономії	1973 NC
2724 Орлов	на честь академіків О. Я. Орлова (1880–1954) та С. В. Орлова (1880–1958)	1978 NC
2727 Патон	академік Б. Є. Патон (нар. 1918), президент НАН України з 1962 р.	1979 NC
2728 Яцків	академік Я. С. Яцків (нар. 1940), директор Головної астрономічної обсерваторії НАН України (з 1975 р.), президент Української астрономічної асоціації (з 1991 р.)	1979 NC
2786 Гріневія	О. Грін (О. С. Гріневський) (1880–1932) російський письменник, значну частину життя прожив в Україні, похований у м. Старий Крим	1978 NC
2787 Товариш	вітрильник Херсонського мореплавного училища, чемпіон багатьох змагань	1978 NC
2883 Барабашов	академік М. П. Барабашов (1894–1971), відомий астроном	1978 NC
2894 Каховка	м. Каховка	1978 LC
2922 Диканька	м. Диканька на Полтавщині	1976 NC
2948 Амосов	академік М. М. Амосов (1913–2002), відомий кийвський хірург	1969 LC
2966 Корсунія	м. Корсунь (Херсонес) – місце хрещення великого князя Київського Володимира Святославича	1977 NC
2967 Владисвят	великий князь Київський Володимир, хреститель Київської Руси	1977 C

Номер і назва планети в каталозі криття,	Походження назви	Рік відкри-
2983 Протавар	м. Полтава	1981 С
3006 Лівадія	містечко Лівадія в Криму	1979 NC
3013 Доброволева	О. В. Добровольський (1914–1989), астроном, дослідник комет і метеорів, уродженець м. Запоріжжя, закінчив Київський університет	
3084 Кондратюк	Ю. Кондратюк (1897–1942), піонер космонавтики, уродженець м. Полтави	1977 С
3119 Добронравін	П. П. Добронравін (нар. 1922), кримський астроном	
3159 Прокоф'єв	проф. В. К. Прокоф'єв (1898–1993), фізик-оптик, працював в КрАО з 1958 р.	1976 TS
3210 Лупішко	Д. Ф. Лупішко (нар. 1942 р.), дослідник фізики планет в АО ХДУ	1983 EB
3242 Бахчисарай	м. Бахчисарай	1979 NC
3298 Массандра	поселення Массандра біля Ялти	1979 NC
3372 Братійчук	М. В. Братійчук (нар. 1927 р.) – астроном, засновник Лабораторії космічних дослід- жень при Ужгородському університеті	1978 NC
3373 Коктебель	містечко Коктебель в Криму	1978 NC
3441 Почайна	річка у Давньому Києві, одне з місць хрещення киян у 988 р.	1969 LC
3444 Степанян	на честь подружжя А. А. і Н. М. Степанян – астрономів КрАО	1980 NC
3448 Нарбут	Г. І. Нарбут (1886–1920) – народний художник України	1977 NC
3469 Булгаков	М. О. Булгаков (1891–1940) – російський письменник, нар. в Києві	1982 LK
3493 Степанов	В. Є. Степанов (1913–1986), астрофізик спеціаліст з фізики Сонця, працював в КрАО у 1955–1962 рр.	1976 NC
3577 Путилін	І. Путилін (1883–1954), київський астроном дослідник малих планет	1969 LC
3591 Владимир- ський	Б. М. Владимирський, кримський астрофізик	1978 NC
3608 Катаєв	В. П. Катаєв (1897–1990), російський письменник, уродженець м. Одеси	1978 LC
3653 Климишин	І. А. Климишин (нар. 1933 р.) астрофізик,	1979 NC

Номер і назва планети в каталозі криття, його автор*	Походження назви	Рік відкри-
	професор Прикарпатського університету	
3816 Чугайнов	П. Ф. Чугайнов (1932–1992) кримський астрофізик	1975 NC
3818 Горлиця	на честь хору «Горлиця» з Могилів- Подільського р-ну Вінницької обл. (керівник М. О. Руденко)	1979 NC
3835 Короленко	В. І. Короленко (1853–1921) – російський письменник, уродженець м. Полтави	1979 NC
3845 Неяченко	І. І. Неяченко ялтинський журналіст, аматор-астрономії	1979 NC
3885 Богородський	О. Ф. Богородський (1907–1984) – київський астроном, спеціаліст у галузі релятивістської астрономії	1977 NC
3945 Герасименко	С. І. Герасименко (нар. 1937 р.) астроном, випускниця Київського університету	
3946 Шор	В. А. Шор (нар. 1926 р.) спеціаліст з небесної механіки, випускник Харківського університету	
3963 Параджанов	С. Параджанов (1924–1990) відомий кінорежисер, творчість якого пов'язана з Україною	1969 LC
3965 Конопльова	В. П. Конопльова (нар. 1919 р.) – астрофізик, київська дослідниця комет	1975 NC
3966 Чередниченко	В. І. Чередниченко (нар. 1929 р.) київський астроном, спеціаліст в галузі теорії комет	1976 NC
4010 Нікольський	І. М. Нікольський (1929–1982) – астрофізик, випускник і співробітник Київського університету у 1953–1956 рр.	
4013 Огірія	М. Б. Огір (1934–1989), кримський астро- ном, випускниця Київського університету	1974 NC
4187 Шульназарія	на честь подружжя Л. М. Шульмана (нар. 1936 р.) та Г. К. Назарчук (1929–1995), дослідників комет з Головної астрономіч- ної обсерваторії НАН України	1978 NC
4208 Кисельов	М. М. Кисельов (нар. 1942 р.), астроном АО ХДУ, дослідник комет	
4274 Караманов	А. С. Караманов, кримський композитор	1980 NC

ДОДАТКИ

633

Номер і назва планети в каталозі криття, Місяць*	Походження назви	Рік відкри-
4308 Місяць	відомий Інститут виноробства в Криму	1978 NC
4315 Проник	на честь подружжя кримських астрономів В. І. та І. І. Проників	1975 NC
4316 Бабінкова	на честь подружжя кримських астрономів О. М. Бабіна та А. М. Коваль	1979 C
4480 Нікітіботанія	Нікітський ботанічний сад в Криму	1985 NC
4520 Довженко	О. П. Довженко (1894–1956) – український письменник, кінорежисер, кінодраматург	1977 NC
4654 Гаркавія	М. М. Гаркавий, астроном КрАО	1977 NC
4682 Биков	Л. Ф. Биков (1928–1979) – український актор і кінорежисер	1973 LC
4685 Каретников	В. Г. Каретников (нар. 1938 р.), астрофізик, директор Одеської обсерваторії	1978 NC
4687 Брунсандрей	А. В. Брунс (нар. 1931 р.), кримський радіоастроном	1979 NC
5044 Шестака	І. С. Шестака (1937–1994), астроном Одеської обсерваторії, спеціаліст з метеорної астрономії	1977 NC
5316 Філатов	академік В. П. Філатов (1875–1956) – відомий хірург, офтальмолог, директор Інституту офтальмології в Одесі (1936–1956)	1982 LK
5808 Бабель	І. Е. Бабель (1894–1941), письменник, уродженець м. Одеси	1987 LK
5944 Утьосов	Леонід Утьосов (1895–1990), естрадний співак, уродженець м. Одеси	1984 LK
7632 Станіслав	С. В. Тельнюк (1935–1990), письменник, поет, публіцист	1982 LK
7633 Володимир	В. В. Тельнюк-Адамчук (1936–2003) – ди- ректор Астрономічної обсерваторії Націо- нального університету імені Тараса Шев- ченка, віце-президент Української астрономічної асоціації	1982 LK

* Позначення авторів – відкривачів малих планет:

GN – Г. Неуймін (Сімеїз) NC – М. Черних
SB – С. Белявський (Сімеїз) BB – Б. А. Бурнашева (КрАО)
PP – П. Пархоменко (Сімеїз) LK – Л. Карачкіна (КрАО)
PS – П. Шайн (Сімеїз) KR – К. Рейнмут (Гельдельберг,

GS – Г. Шайн (Сімеїз) Німеччина)
LC – Л. Черних (КрАО) АМ – Л. Мркос (Клеть, Чехія)
TS – Т. Смірнова (КрАО) ЕВ – Е. Боуєлл (Аризона, США)
LZ – Л. Журавльова

ЛІТЕРАТУРА

ПОПЕРЕДНЄ ЗАУВАЖЕННЯ: У список не включено більшість книг, які загано у хронологічному довіднику *С. І. Селешнікова* «Астрономія і космонавтика» (К.: Наук. думка, 1968), в монографії *А. Й. Єремєєвої* та *Ф. О. Цицина* «История астрономии» (М.: Высшая школа, 1989) і в біографічному довіднику *І. Г. Колчинського*, *А. О. Корсунь* та *М. Г. Родрігеса* «Астрономы» (К.: Наук. думка, 1986). Бібліографія, що стосується розвитку астрономії у першій половині ХХ ст. (до середини 60-х років), є в книжці *О. Струве* і *В. Зебергс* «Астрономия XX века» (М.: Мир, 1968). Вичерпна бібліографія з календарної проблеми є в працях *Є. І. Каменцевої* «Хронология» (М.: Высшая школа, 1967). *С. І. Селешнікова* «История календаря и хронология» (М.: Наука, 1977), *І. А. Климишина* «Календарь и хронология». – М.: Наука, 1990.

ЗАГАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА

Берри А. Краткая история астрономии. – М.: ОГИЗ, 1946.

Идлис Г. М. Революции в астрономии, физике и космологии. – М.: Наука, 1985.

Климишин И. А. Открытие Вселенной. – М.: Наука, 1987.

Паннекук А. История астрономии. – М.: Наука, 1966.

General History of Astronomy (Ed. Hoskin M.), vol.2. – Cambridge, 1988.

Kelsey L., Hoff D. Recent revolutions in astronomy. – N.-Y.: Watts, 1987.

Lovell B. Das unendliche Weltall: Geschichte der Kosmologie von der Antike bis zur Gegenwart. – München: Beck, 1986.

До частини I

Ван-дер-Варден Б. Пробуждающаяся наука. II. Рождение астрономии. – М.: Наука, 1991.

Вуд Дж. Солнце, Луна и древние камни. – М.: Мир, 1981.

Гурштейн А. А. Реконструкция происхождения зодиакальных созвездий / На рубежах познания Вселенной. – ИАИ т. 23, 1992. – С.19–63.

Ковшун И. Н. Развитие представлений о метеорных явлениях от античности до XIX в. – ИАИ т. 21, 1989.

Кызласов И. Л. Воплощения Вселенной. – ИАИ т. 21, 1989.

- Лейзер Д.* Создавая картину Вселенной. – М.: Мир, 1988.
Нейгебауер О. Точные науки в древности. – М., Наука, 1968.
Парсамян Э. С. Археoaстрономия в Армении. – ИАИ т. XX, 1988.
Топоров В. Н. Космогонические мифы// Мифы народов мира, т. 2. – М., 1982.
Шилов Ю. А. Мифы о космических странниках и календарная служба Европы V – I тысячелетий до н.з. – ИАИ т. 23, 1992. – С.272 – 303.
Gładyszowa M. Wiedza ludowa o gwiazdach. – Wrocław: W-wo PAN, 1960.

До части II

- Идельсон Н. И.* Этюды по истории небесной механики. – М.: Наука, 1975.
Ньютон Р. Преступление Клавдия Птолемея. – М.: Наука, 1985.
Murschel A. The structure and function of Ptolemy's physical hypotheses of planetary Motion. //J. for the History of Astron. – 1995. – 26. p. 1.
Thurston Hugh. Early Astronomy. – Springer Verlag, N.-Y., 1994.

До части III

- Бутусов К. П.* «Золотое сечение» в Солнечной системе // Астрометрия и небесная механика. – М.-Л.: 1978.
Веселовский И. Н., Белый Ю. А. Николай Коперник. – М.: Наука, 1974.
Выготский М. Я. Галилей и инквизиция, ч. 1. – М.: ГИТТЛ, 1934.
Кирсанов В. С. Научная революция XVII века. – М.: Наука, 1987.
Прокопович Ф. Філософські твори, II.- К.; Наукова думка, 1980.
Рыбка Е., Рыбка П. Коперник: Человек и мысль. – М.: Мир, 1973.

До части IV

- Бронштэн В. А.* Беседы о космосе и гипотезах. – М.: Наука, 1968.
Бронштэн В. А. Гипотезы о звездах и Вселенной. – М.: Наука, 1974.
Гребеников Е. А., Рябов Ю. А. Поиски и открытия планет. – М.: Наука, 1984.
Ефремов Ю. Н. В глубины Вселенной. – М.: Наука, 1984.
Роузвер Н. Т. Перигелий Меркурия – от Леверье до Эйнштейна. – М.: Мир, 1985.
Уитни Ч. Открытие нашей Галактики. – М.: Мир, 1975.

До части V

- Ариуткин Л. И. и др.* Строение и эволюция областей звездообразования. – К.: Наукова думка, 1990.
Бакал Дж., Дэвис Р. мл., История проблемы солнечных нейтрино// «Ядерная астрофизика». – М.: Мир, 1986.

- Вайнберг С.* Первые три минуты. – М.: Энергоиздат, 1981.
- Горбацкий В. Г.* Введение в физику галактик и скоплений галактик. – М.: Наука, 1986.
- Гоффмейстер К. и др.* Переменные звезды. – М.: Наука, 1990.
- Гуревич Л. Э., Чернин А. Д.* Введение в космогонию. – М.: Наука, 1978.
- Девис П.* Случайная Вселенная. – М.: Мир, 1985.
- Зельдович Я. Б., Новиков И. Д.* Строение и эволюция Вселенной. – М.: Наука, 1975.
- Каплан С. А. Пикельнер С. Б.* Межзвёздная среда. – М.: Наука, 1963; Физика межзвёздной среды. – М.: Наука, 1979.
- Марочник Л. С., Сучков А. А.* Галактика. – М.: Наука, 1984.
- Масевич А. Т., Тутуков А. Л.* Эволюция звезд: теория и наблюдения. – М.: Наука, 1988.
- Мельников О. А. и др.* Современный телескоп. – М.: Наука, 1968.
- Москаленко Е. И.* Методы внеатмосферной астрономии. – М.: Наука, 1968.
- Окунь Л. Б.* Фундаментальные константы физики. – УФН. – 1991 – 161, №9.
- Пиблс П.* Физическая космология. – М.: Мир, 1975.
- Розенталь И. Л.* Геометрия, динамика, Вселенная. – М.: Наука, 1987.
- Товмасын Г. М.* Внегалактические источники радиоизлучения. – М.: Наука, 1986.
- Токовинин А. А.* Звёздные интерферометры. – М.: Наука, 1988.
- Турсунов А.* Основания космологии. – М.: Мысль, 1979.
- Уокер Г.* Астрономические наблюдения. – М.: Мир, 1990.
- Шаров А. С., Новиков И. Д.* Человек, открывший взрыв Вселенной. – М.: Наука, 1989.
- Эйгенсон М. С.* Внегалактическая астрономия. – М.: Наука, 1960.
- Эклз М., Сим Э., Триттон К.* Детекторы слабого излучения в астрономии. – М.: Мир, 1976.

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

- Абеле М.* 449
Абеляр П. 209, 211
Абу-л-Вафа 195
Августин 188
Аверроес (Ібн Рушд) 200, 211
Адамс Дж. 376, 388
Адамс У. 476, 528, 613
Адамянц Р. А. 462
Аз-Заркалі (Арзахель) 199, 200
Аксентьева З. М. 627
Александр С. 425
Алексеев А. Д. 462
Ал-Кушчі 205
Ал-Хасиб 196
Аллер Л. 484, 498, 567
Аль-Баттані 168, 195
Аль-Бітруджі 200
Альбін Ф. 209
Альбіцький В. О. 629
Альвен Х. 569, 615
Аль-Маммун 194
Алькайно Г. 520
Аль-Фаргані 194
Альффер Р. 581, 582
Альффонс Х. 212
Аль-Хорезмі 196
Альціано Г. 558
Амбарцумян В. А. 483, 505, 518, 520, 540, 564, 568, 615
Анаксагор 116
Анаксимандр 115, 124
Анаксімен 114
Ангеландер Ф. В. А. 393
Андерс А. 617
Андерсон К. 480
Ансельм К. 211
Анрар Ж. 380, 389
Антоніаді Е. 57
Аппенцеллер Дж. 507
Аполлоній Пергський 150
Араго Д. Ф. Ж. 346, 402
Аракелович Г. 319
Аргеландер Ф. В. А. 393, 423
Аристарх Самоський 15, 137–143, 174
Аристілл 138, 150, 607
Аристотель 129–136, 142, 270, 281, 417, 607
Аріабхата 190, 607
Армстронг Н. 617
Ар-Румі 204
Арнет Д. 497
Арнетт В. 524
Аро Г. 507
Ари Х. 540, 547, 570
Арреніус С. 495
Архімед 138, 144–148
Архипова В. П. 547
Ас-Суфі 44, 163, 195
Астапович І. С. 630
Астон Ф. 479
Аткінсон Г. 480
Ат-Тусі 199–201
Бааде В. 454, 488, 496, 521, 523, 530, 549, 554, 559, 564, 614, 616
Бабін О. М. 633
Бабіне М. 386
Багнуло В. 560
Байджлоу Ф. Г. 406
Байер Й. 45, 608
Бакал Дж. 461
Бальмер Й. 398
Баніті Р. 588
Барабашов М. П. 627, 631
Баррет А. 532
Бєбкок Х. Д. 501
Бєбкок Х. У. 557
Бєвіс Дж. 426
Беда 206
Беккерель А. 57, 405

Бекон Р. 214, 215
 БеллДж. 617
 Беллармін Р. 288, 296, 305
 Белопольський А. А. 393
 Белявський С. І. 628
 Бербідж Дж. 481, 511, 512, 558, 564, 566, 567, 568–570
 Бербідж М. 481, 511, 512, 558, 566
 Берг С. 522, 524, 556, 559
 Берке Б. 583
 Бернрайт Р. 464
 Беррі А. 8, 60, 137, 286, 358, 394
 Берроу Дж. 599
 Бессель Ф. В. 30. 350, 355, 356, 610
 Бете Г. 461, 480, 581, 615
 Бжосткевич С. 226
 Білз К. 533
 Білий Ю. О. 8, 244, 246, 258, 263
 Біркенмайер Л. А. 229
 Бірман Л. 482, 486, 501
 Біруни (Беруни) 163, 196–199, 607
 Блаау А. 521
 Блажко С. 489
 Блек Д. К. 506
 Блендфорд Р. 571
 Блеу В. Я. 319
 Богородський О. Ф. 580, 633
 Боде Й. Е. 359, 360, 402, 624
 Боденхеймер П. 506
 Бок Б. 507, 514, 526, 536
 Бок П. 514
 Болін К. 434, 515, 613
 Болтон Дж. 454, 530, 564
 Больцман Л. 391, 403, 438
 Бонд У. К. 346
 Бонді Г. 578
 Бор Н. 399, 474, 475, 613
 Борн М. 18, 19, 593
 Бореллі Дж. А. 316, 357
 Борман Ф. 617
 Бородай Т. Ю. 206
 Боуен А. С. 530
 Боярчук О. 498
 Брагінський В. Б. 462
 Браге Тіхо 163, 244, 255–279, 372, 608, 620
 Брадлей Дж. 27, 348, 359, 609, 610
 Братійнук М. В. 632
 Браун М. 445
 Браун Е. У. 366
 Брахмагупта 190
 Бріджмент П. 594
 Брінклі Дж. 354
 Бронштейн М. П. 594
 Бронштен В. А. 8, 377, 380, 399, 495
 Брудзевський В. 227
 Бруно Дж. 20, 22, 249–254, 608
 Брунс А. В. 634
 Брунс Г. Е. 368
 Брюк М. Т. 558
 Бувар А. 382
 Бугер П. 345, 353
 Буйо І. 316, 392
 Булліальд І (Бульо) 372
 Бунзен Р. 346, 397, 402, 611
 Буридан Ж. 20, 218
 Бутусов К. П. 276
 Бьорнхем Ш. У. 395
 Белявський С. 634
 Бем-Вітензе Е. 484
 Боуелл Е. 634
 Бурнашова Б. А. 634
 Бюргі Й. 312
 Бюффон Ж. 375, 407, 414
 Вавілов С. І. 325
 Вапгерт А. 513
 Вайнберг С. 595
 Вальравен Т. і І. 559
 Вальшер Б. 215
 Ван-дер-Варден Б. 22, 24, 43, 72, 86, 90, 98

- Вартанян Ю. Л. 505
 Варахаміхара 607
 Варшавський В. І. 512
 Вебер Дж. 462
 Вейль Г. 575
 Вейман П. А. 490
 Вейцекер К. 480, 539, 590, 615
 Вельзер М. 289
 Венцель В. 496
 Веселовський І. М. 244, 246
 Вестерхаут Г. 519, 536
 Відманитандт Й. А. 231
 Відманитеттен А. 362
 Вілсон Р. 28, 583, 617
 Вільямс П. 567
 Він В. 391
 Вінчі Л. 218, 221, 276
 Вірц К. В. 551
 Віткевич В. В. 457
 Владимирський Б. М. 632
 Вокулер А. 547
 Вокулер Ж. 515, 541, 547, 555, 558
 Властон В. 610
 Волков Дж. 488
 Властон В. 396
 Вольтєр Л. 568
 Вольф М. 557, 561
 Вольф Р. 404
 Вольф Х. 572
 Воронцов-Вельямінов Б. О. 539, 543, 547, 559
 Всехсвятський С. К. 465, 618, 631
 Вуд Дж. 62, 68
 Вудвард П. Р. 525
 Вуслі С. Є. 512
 Габей Дж. 570
 Гаврилов І. В. 627
 Гаврюшин Н. К. 187
 Гагарін Ю. О. 616
 Газе В. 531, 536
 Газнаві М. 197
 Галілео Галілей 20, 25, 50, 227, 280–307, 608
 Галле Г. 384, 611
 Галлей Е. 46, 94, 164, 341, 356, 381, 609
 Галліфорд П. 525
 Галлучі Дж. П. 45
 Гамов Дж. 497, 509, 581, 590, 615
 Ганзен П. А. 365, 376
 Ганський О. П. 500, 627
 Гаркавий М. М. 634
 Гаррісон Дж. 395, 345
 Гарріот Т. 289
 Гаршвік Е. 496, 612
 Гартман Дж. 27
 Гаршман Й. 528, 612
 Гассенді П. 609
 Гаусе К. Ф. 365, 610
 Гафенреффер М. 269
 Гевели Я. 29, 45, 47, 55, 311, 620
 Гейзенберг В. 539
 Геллер М. 571
 Гель 47
 Гельмгольц Г. 57, 405, 611
 Гендерсон Т. 355, 611
 Гензіхен Й. 411
 Геракліт Ефеський 116, 119
 Геракліт Понтійський 123, 129, 601
 Герасименко С. І. 628, 633
 Герасимович Б. В. 533, 614, 627, 629
 Герлофсон Н. 443
 Герман Р. 581
 Герол Х. 540
 Герсон Л. 215
 Герхард із Кремони 210, 608
 Герцог Е. 562
 Герціпрунг Е. 395, 476, 488, 515, 612
 Гершберг Р. Є. 630

Гершель В. 7, 26, 27, 30, 50, 356, 358, 392, 401, 417–421, 428–431, 439, 514, 520, 610
Гершель Дж. 344, 354, 405, 431, 433, 515, 613
Гершель К. 30, 343
Гесіод 43, 61, 114, 127
Гесс В. 459
Гізе Т. 249
Гікетій 123
Гільберт Д. 574
Гільберт У. 318
Гіндерідж О. Дж. 295
Гінзбург В. Л. 571
Гіпатія 184
Гіппарх 15, 104, 138, 149–157, 162, 167, 168, 371
Гіппас 25
Гладишева М. 43
Глешоу Ш. 595
Глінер Е. Б. 596
Гнатик Б. І. 498
Голд Т. 568, 578
Голдрейх П. 526, 540
Гольварда Ф. 392
Гомес-Гонсалес Х. 538
Горбацький В. Г 535, 571, 591
Горкі М. 287
Горські Т. 464
Госселін Е. 253
Гоффмейстер К. 490, 496
Гребеніков Є. О. 244
Грегорі Дж. 310, 609
Грейам А. 343
Грімальді Ф. 55
Грінбергер Хр. 290
Грінстейн Дж. 452, 530, 566
Гроссетет Р. 214
Гроссман М. 573
Гроцій Г. 45
Гудрайк Дж. 392
ГукР. 315–317
Гумбольдт А. 433, 434, 497
Гульельміні Дж. 355
Гун Г. 104
Гуревич Л. Є. 588–590
Гурський Х. 616
Гуриштейн О А. 68, 69, 86
Густафсон Б. 523
Гут А. 596, 618
Гюйгенс Х. 51, 310, 313, 344, 609
Дагер Л. Ж. М. 346, 611
Дайсон Дж. 525, 613
Данте А. 211
Дарвін Дж. Х. 377
Дарвін Ч. 57, 224
Девіс П. 593, 599
Девіс-молодший Р. 461
Дейч А. 533
Декорт Р. 314, 317, 325
Д'Аламбер Ж. Б. 157, 163, 168
Д'Аламбер Ж. Л. 363, 572
Д'Асколі Ч. 20
Деларю У. 347
Деландр А. 347
Делоне Е. 377
Демерс С. 489
Демокріт 116, 418
Депрі А. 389
Дерхем В. 426
Джаконі Р. 464, 616
Джеффрис Х. 415
Джінс Дж. 406, 414, 491, 504, 518, 535, 588, 590
Джойс А. 494
Джонсон Х. 451, 529, 530, 616
Дібай Е. 563
Діггес Т. 318
Дізі Х. 490
Дікке Р. 583, 599

- Диоген Лаертський 117, 418
 Добровольський О. В. 631
 Добронравін П. П. 632
 Доллонд Дж. 342
 Дольфюс О. 463
 Домбровський В. А. 531, 615
 Доменісіані 282
 Домініста М. де 303
 Донаті Дж. 346, 397
 Дотер Х. 391
 Дорошкевич А. Г. 562, 582, 590
 Дрейк Ф. 567, 592, 616
 Дрейер Й. 434, 612
 Дрепер Г. 344, 398, 611
 Дюхерст А. 565
 Еванс Д. 547
 Евершед Дж. 500
 Евдокс 128
 Егген О. 526
 Еддінгтон А. 26, 479, 484, 487, 492,
 504, 507, 518, 529, 578, 594
 Еджворт К. 505
 Ейбел Г. 562
 Ейблс Х. 548
 Ейлер 329, 363, 369, 375, 381, 387, 388
 Еймс А. 547, 561
 Ейнасто Я. 558, 562
 Ейнштейн А. 336, 441, 442, 462, 475,
 487, 573–579, 612
 Елмегрін Б. Г. 526
 Емден Р. 401, 441, 593
 Емпірік Секст 148
 Енке Й. 352, 384
 Епікур 119
 Епінус Ф. 354
 Епштейн Р. 571
 Ератосфен 137, 138, 142–144, 607
 Ері Дж. 383
 Еріуген І. С. 209
 Євдокимов М. М. 627
 Євсевій 183
 Єфремов Ю. М. 8, 165, 529, 566
 Єремєєва А. Й. 8, 20, 109, 122, 135,
 191, 214, 220, 280, 420, 429–431, 435
 Жансен П. 407, 463
 Жевакін С. 492, 493
 Житомирський С. В. 145
 Жоллі Ф. 442
 Жоржелен І. і І. П. 537
 Зелігер Х. 387, 434, 495, 515
 Зельдович Я. Б. 562, 566, 577, 581,
 583, 585–588, 590, 596, 597
 Зенон Елейський 120
 Зігель Ф. 462
 Зомиерфельд А.
 Зубов В. П. 213
 Зундман К. 365
 Зуччі Н. 310
 Ібн Юсуф 194, 607
 Іваненко Д. Д. 594
 Іванов В. В. 483
 Іванов Л. Н. 617
 Івен Х. 536
 Ідельсон Н. І. 175, 244, 245, 249, 337,
 373
 Ідіс Г. М. 598
 Ізидор 206
 Ікаунієкс Я. 490
 Імшенник В. С. 497
 Інголі Ф. 296
 Індікоплевст К. 186, 187, 206
 Інфельд Л. 442
 Іоанн Дамаскін 187
 Іоанн Золотоустий 185
 Іоанн Павел II 307
 Іоаннісіані Б. К. 445
 Іпполіт 144, 145
 Ісобе С. 526
 Іссерітедт Дж. 506
 Істон Х. 425

Кавальєрі Б. 315
Кавендіш Г. 353, 610
Казенс А. 489 *Казимирчак-Полонська О. І.* 629 *Кайдановський М. Л.* 582
Калиняк А. А. 615
Каліпп 129, 150, 151, 153 *Калькофен В.* 484
Камерарій Е. 256
Камерон А. 568, 582
Кампанела Т. 306
Кан Ф. 534
Кант І. 408–411, 419, 610
Кантемир А.
Кантер К. 524
Каплан С. А. 498, 501, 527, 534, 535
Каптейн Я. 423, 515, 516, 528
Карачкіна Л. 634
Кардашиов М. С. 457, 498, 566, 616
Каретников В. Г. 634
Кармін А. С. 572
Карні Б. 523
Карпенко Ю. О. 41, 43, 47 *Карпович М.* 562
Картер В. 599
Кассіні Дж. 51, 311, 340, 351, 609
Кассіні Жак 36
Каулінг Т. 486
Кві К. 519
Кейзер П. 46
Келлман Е. 476
Кемпбел У. 478
Кеннон Е. Дж. 398
Кеплер Й. 20, 25, 249, 255–279, 357, 381, 608, 609
Керр П. 536
Керрінгтон Р. К. 404, 500, 611
Кертіс Г. 491, 516, 544, 563, 613
Кизласов І. Л. 63
Курсанов В. С. 306, 321
Кисельов М. М. 633
Кілер Дж. 433
Кінкаріні Дж. 618
Кіозі К. 512
Кінпенхан Р. 513
Кінпенхойер К. 443
Кінпер А. Я. 530
Кіржніц Д. А. 596
Кірхгоф Г. Р. 346, 397, 402, 611
Клавій Хр. 286
Кларк А. 342
Кларк Дж. 342
Клаузер Дж. 582
Клаузіус Р. 437
Клеро А. К. 357, 374
Клімент Александрійський 184
Клінкерфус В. 495
Климишин І. А. 68, 498, 632, 635
Ко Ш. 192
Коаал К. 562
Коваль А. М., 633
Ковальський М. А. 424
Ковшун І. М. 64
Коен Р. Дж. 522
Козирев М. О. 616
Койпер Дж. П. 52
Копре А. 210
Кокс А. Н. 485
Колгейт С. 497, 568
Коллінз Р. 567
Колмогоров А. Н.
Колосніцин Н. І. 462
Колумб Х. 57, 108
Кольшюттер А. 476, 528
Кондамін Ш. 353
Котов В. А. 501, 617
Кондратюк Ю. В. 627, 632
Конопльова В. П. 633
Конт О. 440
Конфуцій 101, 102

Копал З. 495
 Коперник М. 25, 35, 225–251, 608
 Корлісс У. 502
 Корольов С. П. 628, 629
 Корсунь А. О. 2, 9, 10
 Коуелл П. 388
 Коуен К. 461
 Кпінкерфус В. 495
 Крамерс Х. 475
 Красногорська А. А. 547
 Красовський В. І. 615
 Крат В. 464
 Крафт Р. 489, 494, 495
 Кретъєн 446
 КрістіДж. 52, 493, 548, 618
 Кромлін Е. 388
 Крослей З.
 Ксенократ 121
 Кудер П. 571
 Кудрявцев П. С. 119
 Кузьмін В. А. 460, 518
 Кузанський М. 20, 209, 218, 221, 227, 252, 608
 Кукаркін Б. 31, 491, 494, 521, 615
 Кулі А. 498
 Курганов В. 506
 Куртик Г. Є. 72
 Кутта В. 388
 Кшемінськіи В. 494
 Кьонігл А. 571
 Кюстнер Ф. 517
 Лаберенн 573
 Лагранж Ж. 336, 364, 369
 Лада К. Дж. 526
 Лакайль Н. 29, 46, 356, 426
 Лактанцій 185
 ЛаландЖ. 47, 162, 356, 384
 Лальман А. 450
 Ламберт Й. 381, 610
 Ламонт Й. 406
 Лангрен М., ван 55
 Ландау Л. Д. 438, 487, 594, 614
 Ландольт А. 491
 Лаплас П. 29, 204, 361, 365, 370, 381, 411, 422, 439, 457
 Лапушка К. 449
 Ларсон Р. 506, 508, 524, 526, 560, 561
 Ласселл В. 52
 Лаухен Г. 245
 Лебединський О. У. 498, 503
 Лев Математик (Філософ) 189
 Левер'є У. 50, 383, 611
 Леві М. 344
 Левкіпп 121
 Леду П. 491
 Лейбниц Г. 336
 Лейн Дж. 400, 403
 Лептон Р. 458, 501
 Лейярд А. 87
 Лексель А. 358
 Леметр Ж. 577, 614
 Лемонье П. 47, 359
 Лернер Л. 253
 Лібіх Ю. 611
 Лівітт Х. 27, 488, 613
 Лін К. 539, 540
 Лінг Г. 520
 Ліндبلاد Б. 517, 539, 614
 Лінде А. Д. 597, 598, 618
 Лінден-Белл Д. 526, 539, 540, 541, 569
 ЛіндсБ. 560
 Ліо Б. 449
 Літлтон Р. 415, 492
 Літтров Й. 53
 Ліхтенберг Г. 420
 Ліфішиць Є. М. 438, 589
 Ловелл П. 385, 550, 617
 Лодж О. 281
 Лок'єр Дж. Н. 397, 416, 611
 Ломан В. 558
 Ломоносов М. В. 352, 610

Лонгейр М. 568
 Лоренц Х. 517
 Лорет Е. 500
 Лоу Ф. 457
 Лундмарк К. 496, 546, 549, 561
 Лункевич В. В. 307
 Лупішко Д. Ф. 632
 Любінецький С. 319
 Людовік XIV 46
 Лянунов А. А. 593
 Маанен А. ван 546, 547
 Магеллан 45, 57
 Майер Р. 390, 405, 611
 Майер Т. 356, 375
 Майкельсон А. 451, 613
 Маймонід 200
 Майтнер Л. 58
 Мак-Келлер Е. 582, 615
 Мак-Клор Р. 526
 Мак-Лафлін Д. 497, 556
 Маклір Т. 355
 Максвелл Дж. 9, 263
 Максутов Д. Д. 445, 615
 Малтбі П. 564
 Мальцов М. С. 628
 Манефон 71
 Марій С. 425, 608
 Маріус 50, 51
 Маркарян Б. Є. 563, 616
 Марконі Г. 591
 Марочник Л. С. 519, 541
 Марсаков В. А. 526
 Масевич А. Г. 496, 503, 509, 513
 Маскеланн Н. 353, 356, 624
 Мас'уд 197, 198, 199
 Маундер Е. 42, 501
 Медіні К. 286
 Медлер Й. 56, 383, 424
 Мейял Н. 557
 Меккі М. 565
 Меланхтон Ф. 230
 Мельников О. О. 630
 Мендель Г. 57
 Менделєєв Д. І. 612
 Мерам Ж.-Ж. 426
 Мерсенн М. 310
 Мессьє Ш. 29, 426, 610
 Местел Л. 524
 Местлін 269
 Метон 114, 153
 Метьюз Т. 565–567
 Михайлов О. О. 453
 Міллер Дж. 506, 525
 Мілліс Б. 538
 Мілн Е. 482
 Мінковський Р. 454, 497, 531, 558,
 564, 565, 616
 Міньор А. 554
 Монтанарі Дж. 392
 Морган У. 451, 476, 535, 565, 567, 616
 Морі А. 395, 476, 612
 Морозов М. О. 161
 Моррісон Ф. 569, 570
 Мортон Д. 513, 533
 Москаленко Є. І. 462
 Моффет А. 564
 Мркос Л. 634
 Мультион Р. 413, 612
 Мур К. 464
 Мустель Е. Р. 497
 Мухаммед 193
 Мюллер Й. (Регіомонтан) 216
 Мюллер К. 519, 536
 Наан Г. І 596
 Надьожин Д. К. 10, 497, 617
 Назарчук Г. К. 633
 Нейгебауер Дж. 458
 Нейгебауер О. 79, 85–87, 92, 93, 136
 Нейман К. 436
 Неуймін Г. М. 628, 634

- Нікольський І. М. 633
 Ніконов В. Б. 615, 630
 Новара Д. 227
 Новиков І. Д. 566, 577, 582, 590, 596
 Норвуд Р. 163–166, 313
 Ньюком С. 365, 379
 Ньютоні. 7,15,25, 309–337, 588, 609
 Ньютон Р. 165, 166
 Нью-Холл К. 380
 Огір М. Б. 633
 Огородников К. П. 518
 Озерной Л. М. 569, 570
 ОзуА. 345
 О'Кіф Дж. 500
 Оксфорд В. 570
 Окунь Л. Б. 594
 Олдрін Е. 617
 Ольберс Г. 30, 354, 361, 436
 Ольсен Е. 523
 Ольсон Г. 560
 Оорт Я. 518, 521, 536, 558, 562, 585,
 615, 616
 Опарін А. Г. 592
 Оппенгеймер Р. 487, 488, 615
 Опольцер Т. 612
 Орем М. 218
 Орґен 183
 Орлов М. Я. 9, 10
 Орлов О. Я. 628, 631
 Орлов С. В. 628, 631
 Орсіні 295
 Осіандер А. 248
 Осмер П. 566
 Остерброк Д. 535, 616
 Остерхоф П. 489
 Острайкер Дж. 519, 524, 556, 562
 Оук Дж. 566
 Палич Г. 357
 Павловська О. Д. 165
 Паннекук А. 86, 101, 104, 137, 339,
 345, 357, 402, 451
 Пановкін Б. М. 591
 Паоліні Ф. 464, 616
 Пареного П. П. 494, 503
 Паркер Е. 501
 Парменід 120
 Парсамян Е. С. 64
 Парселл Е. 456, 536, 615
 Парсонс С. 454, 615
 Парсонс У. (лорд Росе) 343, 432
 Пархоменко П. Г. 629, 634
 Паулі В. 19, 460
 Пачинський Б. 511, 513, 599
 Пейдґж Р. 558
 Пеймберт М. 561
 Пензіас А. 28, 583, 617
 Пейн-Гапошкіна С. 493, 514, 517
 Пенья Дж. 560
 Перрайн Ч. 515
 Перевоицзов Д. М. 433
 Петерсен Дж. 489
 Петерсон Б. 566, 567
 Петчіт Р. 497
 Шайці Дж. 29, 53, 610
 Піблс П. 519, 523, 562, 584, 585
 Піз Ф. 451, 553
 Піддінгтон Дж. 540
 Піготт Е. 392, 610
 Пікар Ж. 312
 Пікельнер С. Б. 501, 506, 526–528,
 531, 533, 535, 541
 Пікерінг Е. 359, 385, 395, 398, 612
 Пікколоміні А. 44
 Піфагор 122, 140
 Плат М. 442, 594, 612
 Платон 15, 22, 124–127
 Платан Тиволійський 209
 Погсон Р. 391, 611
 Пономарьов М. Г. 445
 Понтекорво Б. М. 460

Поп А. 320
 Праут У. 264
 Прес У. 591
 Пройсс Е. 567
 Прокоф'єв В. К. 632
 Проник В. І. та І.І. 633
 Пселл М. 188
 Птолемей, Клавдій 136, 137, 158–168,
 180, 224, 371
 Пуанкаре А. 11, 338, 368
 Пуйє К. 403, 405
 Пурбах Г. 215
 Путилін І. 632
 Раймерс М. 262
 Райнерс Ф. 461
 Райт Т. 418, 515
 Рамус П. 130, 210
 Ребер Г. 443, 453, 615
 Регіомоншан 231, 620
 Резерфорд Е. 504
 Резерфорд Л. 57, 397
 Рейлі Е. 507, 526
 Рейнгольд Е. 231, 244, 246
 Рейнмуш К. 634
 Рейнольдс Дж. 434, 549
 Ремер О. 27, 314, 344, 609
 Рен К 326
 Рессел Г. Н. 415, 416, 477, 502, 546,
 612
 Ретік (Лаухен Г.) 245, 608
 Рибка Є. і П. 232, 248
 Рівс Х. 485, 542
 Ріккарді Н. 307
 Ріс М. 524, 570
 Ріттер Г. 400, 415, 611
 Ріхтер Г. 496
 Річі Дж. У. 444, 446, 545
 Річчолі Дж. Б. 55
 Ріше Ж. 313, 609
 Робертс В. 541
 Робертсон М. 525
 Рожковський Д. О. 505
 Розенталь Г. Л. 598
 Ром А. 389
 Ромеро Р. 538
 Росе М. 464
 Россі Б. 616
 Росселанд С. 492, 530
 Роуланд Р. 407
 Рош Е. 370
 Руайє О. 46
 Рубін В. 599
 Руд Г. 618
 Рунге К. 388
 Рускол Є. Л. 317, 542
 Рутенфорд Л. 346
 Рябов О. О. 388, 389
 Саакян Г. С. 503
 Саар Е. 540
 Сабіт ібн Курра 193
 Сазонов В. М. 571
 Саймон М. 567
 Сапо Х. 523
 Салом А. 595
 Сальвіаті Й. 231
 Самолова-Яхонтова Н. С. 629
 Сарджент В. 524, 560
 Сафронов В. С. 542
 Саха М. 475, 614
 Сахаров А. Д. 597, 617
 Сван В. 397
 Сведенборг Е. 418
 Свіфт Дж. 58, 360
 Сейден Р. Е. 540
 Сейдл Б. 489
 Сейферт К. 563
 Сет (Сир) С. 188
 Секкі А. 346, 397, 403, 611
 Сендідж А. 478, 510, 523, 526, 547,
 555, 559, 567
 Сенека 124, 128, 224

- Сентрел Дж. 591
 Серковський К. 494
 Серрано А. 561
 Северний А. Б. 449, 501, 617, 629
 Сироватський С. І. 501
 Сі Ю. 191
 Сілк Дж. 524
 Сімейкін Б. П. 627
 Сімпліцій 129
 Сірл Л. 524, 560
 Сіттер В. 574, 575, 578, 613
 Скалігер 608
 Скало Дж. 525
 Скіапареллі Дж. 57, 611
 Скоритченко Б. М. 628
 Слайфер В. 434, 548, 550, 557, 613
 Смірнова Т. 634
 Сміт Дж. 87
 Сміт М. 558, 566
 Сміт С. 557
 Сміт Х. 566
 Смут Г. 599
 Снелліус В. 313
 Соболевський А. І. 213
 Соболев В. В. 483
 Созіген 607
 Солітер Е. 480, 506, 525, 566, 569
 Спаський Б. І. 182
 Спітцер Д. 527, 528, 530, 568
 Стабій Й. 44
 Стар-Карпенгер Р. 536
 Старобінський А. А. 596
 Старфілд С. 525
 Стеббінс Дж. 450, 546
 Стевін С. 318
 Стендіш Е. 380
 Стенлі Г. 454, 531
 Стенсел Р. 498
 Степанов В. С. 632
 Степанян А. А. і Н. М. 632
 Стефан Й. 391, 403
 Стешенко М. В. 630
 Стремберг Г. 551
 Стремгрен Б. 484, 517, 523, 534
 Стінклі-Холл А. 359
 Стронг Д. 446, 614
 Струве В. Я. 355, 394, 423, 434, 514, 528, 610, 611
 Струве О. В. 404, 482, 533, 545, 627
 Сум К. 512
 Сучкова О. 519, 526, 538, 541
 Тагі-Заде А. К. 205
 Тадеуш П. 582
 Тайсон Дж. 462
 Таллі Р. 560
 Тальбот Р. 524
 Тамманн Г. 555
 Тау сі П. 464
 Тварог Б. А. 526
 Тельнюк С. В. 634
 Тельнюк-Адамчук В. В. 2, 9, 10, 634
 Теон Александрійський 185
 Тернер Б. 527
 Террел Дж. 570
 Тертуліан 183
 Тимохаріс 138, 150, 607
 Тінслі Б. 524–526, 560, 561
 Тіплер Ф. 599
 Тіціус Й. Д. 360
 Товмасян Г. М. 567, 570
 Толмен Р. 553
 Томбо К. 385, 614
 Томсон В. 362
 Томсон У. (лорд Кельвін) 399, 438, 503
 Тоомре А. і Дж. 542
 Торосян В. Г. 338
 Торрічеллі Е. 315
 Тріон Е. 596
 Трюмплер Р. 518, 520, 529, 614
 Туркевич А. 582
 Тутуков О. В. 496, 509, 512, 513

Уайз А. 557
Уайт Р. 497
Уеллс Г. 57
Уівер Т. 512
Уілкінс Дж. 319
Уіллер Дж. 488, 594
Уільямс Дж. 380
Уіппл Ф. 452
Уітні Ч. 343, 425
Улугбек 203, 608, 620
Умов Н. А. 394
Унзольда. 482, 483
Уокер М. 28
Урсинус Ф. 231
Фабріцій Д. 289, 392, 608
Фай Е. О. 413
Фанес Мілетський 115
Фаулер Р. 486
Фаулер У. 481, 497, 512, 568, 582
Федорець В. О. 627
Фейнман Р. 18, 19
Фермі Е. 539, 582
Ферні Дж. 490
Фесенков В. Г. 502, 505, 627, 630
Філд Г. 524
Філіпс Дж. 454, 615
Філолай 123
Фірміан 185
Фічіно М. 226
Фішер Дж. 560
Фламмаріон К. 31, 358, 625
Флемінг В. 478
Флемстід Дж. 45, 341, 359
Фогель Г. 393
Фойхтер К. 491
Фолкнер Д. 489
Фомін П. І. 596
Фонтенель Б. 320
Фоскаріні П. 292
Фотій 189
Франк І. М. 444
Франк-Каменецький Д. А. 485
Фраунгофер Й. 342, 345, 396, 397, 610
Фрідман О. О. 136, 575–580, 614
Фрідман Х. 615
Фуджімото М. 541
Фуко Ж. 355, 611
Хаббл Е. П. 441, 455, 514, 545, 548, 552, 558, 560, 584, 614
Хазард К. 565
Хайкін С. Є. 582
Харкінс В. 479
Харріс В. 558
Хартвік Ф. Д. 521
Хауалл Т. 305
Хаякава С. 538
Хаяші Ч. 311, 508, 582
Хеггінс У. 346, 397, 432, 549
Хеддок Ф. 567
Хейл Дж. Е. 347, 407, 444, 445, 500, 582, 613–615
Хейнфонел К. 44
Хекстон В. К. 461
Хемфріс Р. 507
Хеньї Л. 486
Хербіг Дж. 507
Херівел Дж. 326
Херм Р. 507
Херріс Д. 616
Хіггс П. 597
Хілл Дж. 378, 501
Хілтнер У. 531, 615
Хіндман Г. В. 536
Хіте А. Р. 515
Хішен Д. 567
Хладні Е. 361, 610
Ходжс П. 558–560
Хойл Ф. 68, 481, 492, 497, 510, 512, 523, 524, 568–570, 578, 579, 583
Хокінг С. 617
Хокінс Дж. 67, 68, 594

- Холівуд Дж. 213
 Хол Ф. 519, 562
 Холл А. 28, 30, 50, 51, 359, 387, 611, 615
 Холм Дж. 478
 Холопов П. М. 520, 521
 Хольмберг Е. 557, 558
 Хоффлейт Д. 566
 Хоффмейстер К. 501
 Хофяйт Д. Хоутерманс Ф. 480
 Хукер Док. 445
 Хун Л. 104
 Хухт Ван дер 500
 Х'юїи А. 28, 617
 Хюлст Х. 457, 536
 Хюїтт А. 567
 Х'юмасон М. 30, 552, 555, 584
 Цап Т. Т. 501, 617
 Цах Ф. 361
 Цвіккі Ф. 496, 547, 548, 561, 562, 614
 Целльнер Й. 345
 Церарський В. К. 612
 Цесевич В. П. 489, 630
 Цзай Ч. 193
 Цзун-вен Ч. 105
 Циммерман Г. 512
 Цишович С. Б. 501
 Ціннер Е. 497
 Ціолковський К. Е. 463, 612
 Цицин Ф. О. 8, 20, 109, 122, 135, 191, 214, 220, 280, 420, 435
 Чавуто В. 506
 Чандрасекар С. 483, 486, 509, 518, 539, 581
 Чандлер С. К. 389
 Чедвік Дж. 480
 Челліс Дж. 383
 Чемберлін Т. 413, 612
 Чередниченко В. І. 633
 Черепащук А. В. 513
 Черних М. С. 628, 630, 634
 Чернін А. Д. 588, 589, 590
 Чжо Л. 191
 Чугайнов П. Ф. 632
 Чурюмов К. І. 628, 631
 Шайн Г. А. 445, 531, 628, 629, 634
 Шайн П. Ф. 445, 629, 634
 Шандарін С. Ф. 562
 Шарльє К. 437
 Шаров А. С. 566
 Шарплес С. 535, 616
 Шацман Е. 495, 506
 Швабе Г. 27, 403, 611
 Шварцшильд К. 481, 518, 574, 612
 Шварцшильд М. 463, 464, 481, 486, 501, 507, 510, 558
 Шеберле Дж. М. 359
 Шевченко М. Ю. 163
 Шезо Ж. 437
 Шейн К. 564
 Шейнер Хр. 289, 310, 608, 609
 Шейнер Ю. 393, 395
 Шекерес П. 566
 Шенберг М. 497, 509
 Шеплі Х. 478, 488, 492, 515–517, 528, 542, 547, 561, 613
 Шень Ко 192
 Шень Ши 104
 Шестака І. С. 634
 Шилов Ю. О. 63
 Шіммінс А. 565
 Шкловський Й. С. 443, 456, 531, 532, 566, 582, 588, 593, 616
 Шмаонов Т. А. 582
 Шмідт Д. 380
 Шмідт М. 28, 524, 565–567, 570, 616
 Шмідт О. Ю. 542
 Шмідт Ю. 391, 611
 Шмідт-Калер Т. 540

Шонберг М. 231, 249, 524
Шор В. А. 633
Шредінгер Е. 584
Шперер Г. 404, 501
Шретер Й. 56
Штепнер-Зон Р. 490
Штернберг П. К. 395
Шу Ф. 539, 540
Шульман Л. М. 633
Шустер А. 481
Щеглов П. В. 444, 553
Юен Х. 456, 615
Юнг Д. 570
Юнг Т. 390
Юнг Ч. О. 404
Яністе Я. 540
Яблонський Ю. А. 319
Якоб де Рейн 45
Якобі К. 370
Яковкін А. О. 628
Янгель М. К. 628
Ямський К. 27, 452, 453, 614
Яцків Я. С. 10, 631

Науково-популярне видання

ББК 22.6
К 49
УДК 52(091)

Климишин Іван Антонович

ІСТОРІЯ АСТРОНОМІЇ

Передполіграфічна підготовка – *І. Я. Третяк*

Підписано до друку 11.08.2006. Формат 64×80/16.
Папір офсетний. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 40,75.
Обл. вид. арк. 35,25. Наклад 520 прим.

Видання цієї книги стало можливим завдяки допомозі
Івано-Франківського міського голови п. *З. В. Шкутяка*



КЛИМИШИН Іван Антонович – професор, доктор фізико-математичних наук, академік Академії Наук Вищої школи України, дійсний член Наукового Товариства ім. Т. Шевченка. Народився 17.01.1933 року в Кутиськах Лановецького району Тернопільської області. У 1955 році закінчив фізичний факультет Львівського університету, в 1958 – аспірантуру там же. 1961 року здобув вчений ступінь кандидата фізико-математичних наук у Київському, 1971 року – доктора фіз.-мат. наук у Московському університетах. Автор близько 65 монографій та науково-популярних книг з космічної газодинаміки, історії теорії календаря, історії астрономії й окремих питань релігієзнавства. З 1974 року працює в Івано-Франківську професором кафедри фізики Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, водночас, з 1991 року – професором Івано-Франківської Теологічної Академії УГКЦ.

