

**І. А. КЛИМИШИН
Г. О. ГАРБУЗОВ
Б. О. МУРНІКОВ
Т. І. КАБАНОВА**

АСТРОНОМІЯ

Навчальний посібник

Одеса
«Астропринт»
2012

УДК 22.6я73
ББК 52(075.8)
К49

Рецензенти:

І. Л. Андронов, доктор фіз.-мат. наук, професор, Одеський національний морський університет;

С. М. Андрієвський, доктор фіз.-мат. наук, професор, Одеський національний університет імені І. І. Мечникова;

В. Г. Каретніков, доктор фіз.-мат. наук, професор, Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

Рекомендовано до друку вченою радою Одеського національного університету імені І. І. Мечникова (*протокол № 3 від 27 листопада 2012 р.*)

Климишин І. А., Гарбузов Г. О., Мурніков Б. О., Кабанова Т. І.
К49 Астрономія : навчальний посібник / І. А. Климишин, Г. О. Гарбузов, Б. О. Мурніков, Т. І. Кабанова. — Одеса : Астропринт, 2012. — 352 с.
ISBN 978–966–190–656–2

У книзі наведено основні відомості з багатьох галузей астрономії. Описано сузір'я неба залежно від пори року. Також дано характеристики Сонця, Місяця, штучних супутників Землі, інших планет Сонячної системи. Особливу увагу приділено умовам спостереження за планетами, зорями, туманностями, галактиками.

Для студентів вищих навчальних закладів, учнів старших класів середніх шкіл, а також для всіх, хто цікавиться астрономічними спостереженнями.

УДК 22.6я73
ББК 52(075.8)

ISBN 978–966–190–656–2

© Климишин І. А., Гарбузов Г. О.,
Мурніков Б. О., Кабанова Т. І., 2012

Передмова

Ця книга являє собою оновлене видання книги І. А. Климичина «Астрономія: практикум» (Львів, 1996). Автори зберегли основний зміст та структуру книги. Частина матеріалу була перероблена, особливо це стосується таблиць та ілюстрацій.

Книга призначена різним категоріям читачів, котрих об'єднує одне — бажання самостійно розібратися у небесних явищах.

По-перше, це допитливі люди, що звикли дивитися на небо, і їм просто цікаво більше знати про Всесвіт.

По-друге, це аматори астрономії, котрі бажають зробити свій внесок у науку. Зрозуміло, без потужних телескопів, витонченої методики і глибоких теоретичних знань, це дуже складно. Але і досі є низка наукових задач, у розв'язанні яких успішно працюють аматори астрономії — спостереження змінних зір, метеорів і т. ін.

По-третє, це викладачі та учні загальноосвітніх шкіл, де астрономія знову викладається як окремий предмет. Нескладні спостереження безпосередньо за небесними світилами та їхнім рухом незрівнянно більш корисні, ніж пасивне знайомство із Всесвітом в Інтернеті. Допитливі школярі можуть і самостійно користатися книгою як методичним посібником з астрономії.

По-четверте, книга стане в пригоді викладачам і студентам вищих навчальних закладів. Вона не замінить підручники та методичні вказівки з різних відділів сучасної астрономії, але забезпечить матеріалом багато практичних занять. Сподіваємось, деякі довідкові таблиці будуть корисні і астрономам-професіоналам.

Не тільки вченим астрономам, студентам та вчителям необхідні знання з астрономії. Будь-яка культурна людина повинна мати імунітет проти сенсаційної та перекрученої «інформації», котрої так багато в сучасному інформаційному просторі. Неспеціалісту дуже важко відокремити зерно наукової істини від наукоподібних спекуляцій. Ми не

претендуємо на «істину в останній інстанції», а тільки сподіваємось, що наша книга сприятиме реалістичному ставленню до навколишнього світу, в якому, до речі, дійсно цікавого значно більше, ніж в усіх псевдонаукових вигадках.

Ми приносимо щиру подяку колегам: проф. С. М. Андрієвському за всебічну підтримку, К. П. Сухову за допомогу у підготовці ілюстрацій, Ю. М. Горбаньову за консультації, Л. Ф. Орловій за надання кількох рисунків її покійного чоловіка, астронома В. П. Орлова.

На перший погляд всі небесні світила однаково віддалені від нас. Певна річ, ми розуміємо, що це не так, але дійсні масштаби Всесвіту перевищують всяку уяву про них. Астрономи, наприклад, кажуть: «Сьогодні відбудеться сполучення Місяця з Юпітером у сузір'ї Діви», і нам важко уявити, що Місяць десь у 2000 разів ближчий, ніж Юпітер, котрий, у свою чергу, в 2 мільйони разів ближчий, ніж яскрава зоря Спіка в сузір'ї Діви. Діапазон відстаней — мільярди разів! І це не все. Метеор, що пролетів на тлі зоряного неба, у тисячі разів ближчий за Місяць, а з іншого боку, у напрямку того ж сузір'я Діви є відомий квазар 3С 273, і відстань до нього у 20 мільйонів разів більша, ніж до Спіки! І все це — метеори, Місяць, планети, зорі, галактики, квазари — об'єкти астрономічних спостережень. Загалом, діапазон відстаней — від метеорів (сотні кілометрів) до далеких галактик і квазарів (10^{23} км) — становить десь 10^{21} (трильйон мільярдів) разів!

Всесвіт неосяжно грандіозний не тільки за розмірами. За густиною видимі об'єкти відрізняються від 10^{-24} г/см³ (розріджені газові туманності) до 10^6 г/см³ (білі карлики). Ще більша густина у невидимих надрах нейтронних зір, не кажучи вже про чорні діри. Часові масштаби періодичних процесів охоплюють діапазон від тисячних часток секунди (періоди обертання пульсарів) до сотень мільйонів років (періоди обертання зір навкруг центрів галактик).

Можна вказати й інші фізичні величини, за якими небесні об'єкти демонструють величезне розмаїття. Зупинимось ще на видимих кутових швидкостях небесних тіл, бо саме кутові переміщення на протязі багатьох століть тільки і могли вивчати астрономи.

Найбільш швидкоплинне явище — це проліт метеора. За частки секунди (рідше секунди) метеор проходить градуси і десятки градусів. Це тому, що метеори, як зазначалося, найближчі з астрономічних явищ. Значно меншу швидкість мають штучні супутники Землі. Наступним, набагато повільнішим, рухом є видиме добове обертання «всього неба» внаслідок обертання Землі навкруг своєї осі. Земля обертається настільки плавно, що тільки після Коперника людство почало усвідомлювати цей рух. За добу небесні світила нібито роблять

один оберт навколо Землі, а за годину — всього 15° . Ще повільніше рухається Місяць на тлі зоряного неба. 27 діб йому потрібно, щоб повернутися на попереднє місце серед зір. Все ж таки, на протязі кількох годин можна впевнитися у цьому рухові. Ще більше часу потрібно, щоб помітити зміну положення будь-якої планети нашої Сонячної системи відносно зір. Але й це добре помітно через тижні та місяці. І тільки зорі весь час зберігають свої взаємні положення. Не дивно, що їх назвали «нерухомими», здавна почали групувати у сузір'я і найчастіше вважали нерухомо закріпленими на твердій сферичній поверхні, що плавно обертається навколо Землі. А все завдяки тому, що характерні швидкості рухів зір (одна відносно інших) — десятки кілометрів за секунду, такі ж за порядком величини, як і швидкості планет. Відстані ж до зір, як ми зараз знаємо, у десятки тисяч, сотні тисяч і мільйони разів більші, ніж відстані між планетами Сонячної системи. Тому й часу, щоб помітити ці рухи неозброєним оком, потрібно вже не тижні й місяці, а тисячі й десятки тисяч років. І ще для багатьох поколінь астрономів і не-астрономів Велика Ведмедиця буде показувати хвостом на зорю Арктур, і Пояс Орiona так само блищатиме між Бетельгейзе і Рігелем, а Альдебарана будуть супроводжувати зорі скупчення Гіад.

Певна гармонія між стабільністю зоряного неба, з одного боку, і ритмічним повторенням не дуже великої кількості періодичних явищ, з другого, сприяла тому, що, зацікавившись небесними явищами, найбільш допитливі із наших предків започаткували систему знань, котра вже більше двох тисяч років зветься астрономією.

1. АБЕТКА АСТРОНОМІЇ

Багато сотень років тому люди, з'ясувавши, що їхнє місце проживання — планета Земля — має форму кулі, образно кажучи, покрили її *сіткою географічних координат*, що й дає їм (нам) змогу точно визначати, де з кимось трапилася та чи інша подія. Від одного з географічних меридіанів — гринвіцького, який вважають основним, уздовж земного екватора до меридіана місця події вимірюють *географічну довготу* λ , від земного екватора уздовж географічного меридіана до місця події — *географічну широту* φ (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Сітка географічних координат λ і φ на поверхні Землі

Здавня людям потрібно було вимірювати час. Природа дала їм для цього три явища, які ритмічно повторюються: зміну дня й ночі, зміну зовнішнього вигляду (фаз) Місяця, зміну пір року. Тривалість першого явища вони назвали *добою*. Однак виявили, що сказати «вранці», «вдень» чи «ввечері» — це дуже неточно. Тому й поділили добу на години (шоправда, деякий час ділили на 12 частин ніч і на стільки ж днів незалежно від того, чи це, скажімо, довгий день улітку чи короткий взимку). Години поділили на хвилини, а хвилини — на секунди.

Дуже зручним виявився проміжок часу тривалістю 29,53 доби, протягом якого Місяць змінює свій зовнішній вигляд. Не випадково слова, що позначають щось вимірюване, місяць як проміжок часу і сам Місяць, нерідко схожі. Наприклад, у латинській мові *mensis* — місяць (як проміжок часу) і *mensura* — міра; у греків μήνη — Місяць, μήν — місяць; в англійців — *moon* — Місяць і *month* — місяць, у нас *місяць* має два значення...

І звичайно ж, люди зуміли використати тривалість третього явища — року. Однак минули віки, доки вони визначили тривалість проміжку часу, за який повторюються пори року, і який назвали *тропічним роком* (від гр. τροπος — поворот). Вона становить 365,2422... доби.

Людям складно було враховувати ці дробові частки доби, у різних народів це робили по-своєму. Тому й з'явилося багато різних систем лічби днів в роках, тобто різних *календарів*. Про них довідаємося пізніше. Зазначимо лише, що зусиллями вчених розроблено «Вічні календарі», які дають змогу легко визначати день тижня на будь-яку задану дату. Маємо також таблиці, що допомагають визначити фазу Місяця на будь-яку задану дату. Нарешті, давно вже створені програми, за якими комп'ютер, мобільний телефон та інші пристрої виконують різноманітні «календарні» функції.

І кваліфікований астроном, і початківець-аматор (учень чи студент), готуючись до астрономічного спостереження, повинні вирішити три питання: *що* (він буде спостерігати), *де* (цей об'єкт є на небі) і *коли* (його можна побачити). І він мусить дати таку відповідь, що фактично є набором деяких чисел: «об'єкт (***) зоряної величини» є в точці з координатами (***) і «перебуває над горизонтом від (***) до (***) години».

Ось чому перш ніж починати спостереження, ми повинні з'ясувати, що конкретно означає згаданий тут набір чисел. Мусимо ввести поняття небесних координат, навчитися їх «відчитувати», тобто мусимо знати, як відповісти на питання «що, коли і де?» Як сказав один мудрець, шлях до вивчення зір починається від того, що ми просто дивимось на них і захоплюємось ними. А водночас вивчаємо *абетку астрономії*, без якої важко, майже неможливо, обійтись і кваліфікованому астрономові, і початківцеві-аматорові. Сказав же Микола Коперник: «І якщо всі науки підносять дух людський, то найбільше це властиве астрономії, не кажучи вже про найвищу духовну насолоду, пов'язану з її вивченням».

1.1. ОСНОВНІ ТОЧКИ І ЛІНІЇ НЕБЕСНОЇ СФЕРИ. НЕБЕСНІ КООРДИНАТИ

Вивчення зоряного неба ми спочатку обмежимо визначенням *кутових відстаней* між світилами. Уявімо собі, що небо — велетенський глобус довільного радіуса, однак за тієї умови, що спостерігач перебуває в його центрі. Очевидно, що як і на земному глобусі, на глобусі небесному також можна намалювати певну координатну сітку, за допомогою якої можна позначати розташування світил на небі.

Цьому сприяє обставина: дивлячись на небо, ми не сприймаємо на око різниці у відстанях до небесних світил, бо, як ми вже знаємо, вони вражающе великі. Тому можемо (і це дуже зручно) вважати, що всі вони є на однаковій відстані від спостерігача, або, як прийнято говорити, — на *небесній сфері*.

Небесною сферою називається уявна допоміжна сфера довільного радіуса, на яку спроектовано всі світила так, як їх бачить спостерігач у деякий момент часу з деякої точки простору.

Нагадаємо таке: якщо сферу перерізає площина, то утворюється коло. Якщо площина проходить через центр сфери, то коло називають великим, у протилежному випадку коло мале.

Точки і лінії небесної сфери. Щоб мати змогу провести на сфері (цьому уявному глобусі, усередині якого є спостерігач) лінії, потрібні передовсім опорні точки. Найперше, це *зеніт* і *надир*.

Зеніт Z — це верхня, на *надир* Z' — нижня точки перетину небесної сфери вертикальною лінією, що проходить через її центр. Велике коло небесної сфери, площина якого перпендикулярна до вертикальної лінії, називається *горизонтом* (рис. 1.2).

Дугу великого кола, що проходить від зеніту через світило до горизонту, називають *вертикалом*.

Узагальнюючи спостереження («зорі сходять, підіймаються вгору, потім опуска-

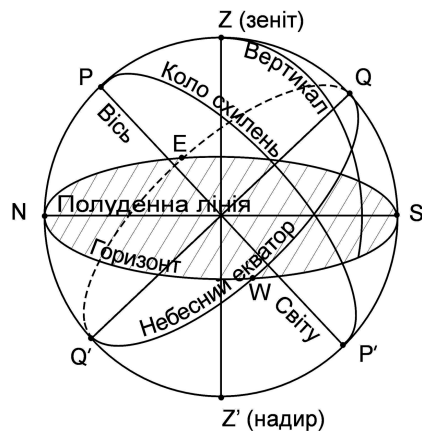


Рис. 1.2. Точки і лінії небесної сфери

каються вниз і заходять»), зазначимо: небесна сфера обертається. По-науковому це звучить так: вона обертається навколо одного зі своїх діаметрів. Так це виглядає з точки зору спостерігача, який, звичайно, приймає участь в добовому обертанні Землі.

Діаметр, навколо якого обертається небесна сфера, називається *віссю світу*. Точки перетину осі світу з небесною сферою — *полюси світу*. Один з них — Північний, протилежний — Південний. Кажуть, що Північним є той полюс світу, щодо якого небесна сфера обертається *проти годинникової стрілки, якщо дивитися на неї «зсередини»*. Інакше, Північний полюс світу це той, що його видно на небі з північної півкулі Землі. Оскільки порівняно з відстанями до зір розміри Землі нікчемно малі, то напрям на полюс світу і з місця спостереження, і з центра Землі є одним і тим же. Звідси виводять теорему:

висота полюса світу над горизонтом h_p дорівнює географічній широті спостерігача φ .

Велике коло небесної сфери, площина якого перпендикулярна до осі світу, називається *небесним екватором*. Небесний екватор ділить небесну сферу на дві півкулі: *північну і південну*.

Небесний екватор перетинає горизонт у двох точках: у *точці сходу E* і в *точці заходу W* . Вертикал, що проходить через точку E , називається *першим вертикалом*. Добові рухи світил відбуваються по *добових паралелях*.

Велике коло, яке проходить через полюси світу і зеніт, називається *небесним меридіаном*. Він ділить небесну сферу на дві півкулі: *східну і західну*. Площина небесного меридіана перерізає площину горизонту, утворюючи *полуденну лінію*. Вона ж перетинає горизонт у двох точках: у *точці півночі N* і в *точці півдня S* . Точка півночі N ближча до Північного полюса світу. Вона розташована «під ним» для спостерігача в Північній півкулі Землі, а для спостерігача у Південній півкулі Північний полюс світу ховається під горизонтом, точка ж півночі перебуває «над ним». Точка півдня S ближча до Південного полюса світу. Велике коло, яке проходить через полюси світу і світило M , називається *колом схилення світила, або годинним колом*.

Нарешті, видимий річний рух Сонця на фоні зір здійснюється по великому колу, яке називається *екліптикою*. Цей рух спричинений річним обертанням Землі навкруг Сонця. Площина екліптики нахилена до площини небесного екватора під кутом $\varepsilon = 23^\circ 26'$, бо саме під цим кутом екватор Землі нахилений до площини земної орбіти. Точки перетину екліптики з небесним екватором називаються *точками весняного*

і осіннього рівнодень. Через точку весняного рівнодення (Υ) 20 або 21 березня Сонце переходить з південної півкулі неба в північну. Через точку осіннього рівнодення (Ω) 22 або 23 вересня Сонце переходить з північної півкулі в південну. Точки екліптики, віддалені на 90° від точок рівнодень, називаються *точками сонцестоянь*.

Щоб глибше вивчити і ліпше засвоїти перелічені тут поняття, використовують *модель небесної сфери* (рис. 1.3). Корисно відвідати планетарій, або скористатися однією з багатьох комп'ютерних програм.

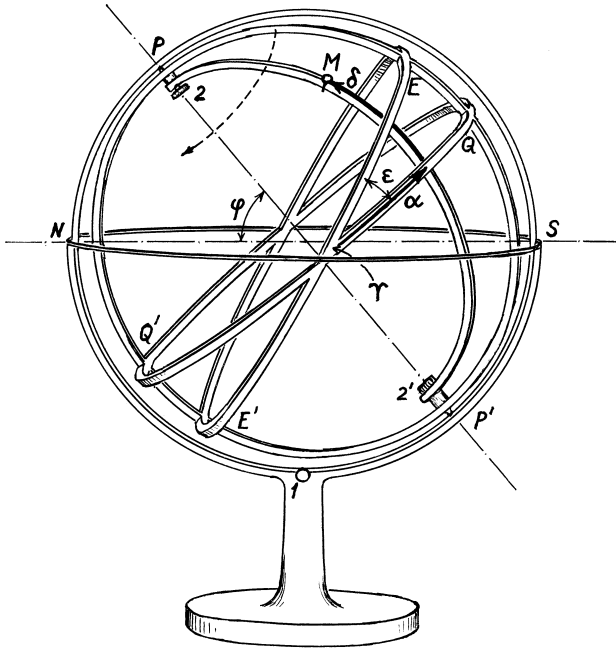


Рис. 1.3. Проста модель небесної сфери.

Тонке кільце NS — горизонт. Кільце $NPSP$ — небесний меридіан — ковзає у нерухомому півкільці SPN і закріплюється гвинтом 1 згідно до широти φ . Три кільця — небесний екватор $Q'Q'$, екліптика $E'E'$ та коло схилень $EQE'Q'$ між собою жорстко з'єднані. Півкільце $2M2'$, на якому згідно до схилень δ кріпиться «світло» M , встановлюється за прямим піднесенням α «світла» M і скріплюється гвинтами 2 і 2' з кільцем $EQE'Q'$. Тепер, обертаючи всю цю систему навколо осі світу PP' , відтворюємо добовий рух світила M . Цю модель можна ускладнювати, що й робили давні астрономи, використовуючи її для різноманітних спостережень

Зауважимо, що Північний полюс світу є недалеко від зорі, що називається *Полярною* (рис. 1.4). Ставши ввечері обличчям до неї, недовзі переконаємось, що справді зорі, які зліва від неї, опускаються

вниз, тоді як ті, що справа, підносяться вгору, отже, обертання відбувається проти годинникової стрілки.

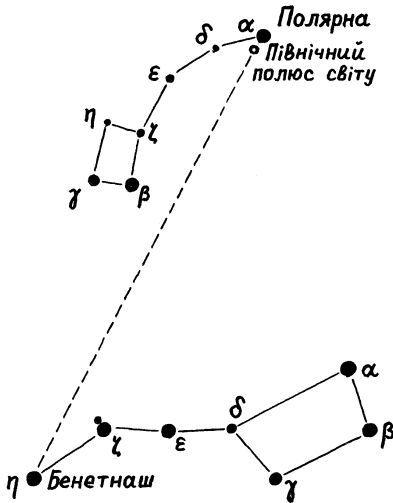


Рис. 1.4. Положення Північного полюса світу відносно Полярної зорі

Горизонтальна система небесних координат. Найпростіша з систем небесних координат — *горизонтальна*. У ній основною є площина горизонту, а нуль-пунктом — точка півдня S . Тут задають і вимірюють азимут світила і його висоту над горизонтом. *Азимут* світила A позначає дуга від точки півдня S уздовж горизонту в бік заходу до вертикала світила. *Висоту* світила h відлічують від горизонту вздовж вертикала до світила. Як азимут, так і висоту вимірюють у градусах. Замість висоти h світила часто використовують *зенітну відстань* z , причому очевидно, що $z = 90^\circ - h$ (рис. 1.5). Зауважимо також, що геодезисти та штурмани теж використовують азимут, але, на відміну від астрономів, відлічують його не тільки від точки півдня.

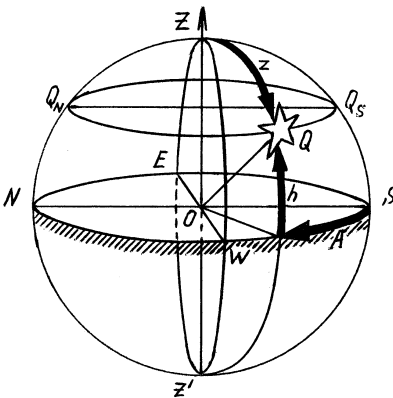


Рис. 1.5. Горизонтальна система небесних координат, стрілками вказано напрями відліку азимута A й висоти h

Екваторіальні системи небесних координат. В астрономії використовують дві системи екваторіальних координат. Основною площиною в них є площина небесного екватора. У *першій* основною точкою є найближча до зеніту точка небесного ек-

ватора Q (тобто та із двох точок перетину небесного екватора з небесним меридіаном, котра над горизонтом). Тут вимірюють такі дві координати (рис. 1.6): годинний кут t і схилення δ світила.

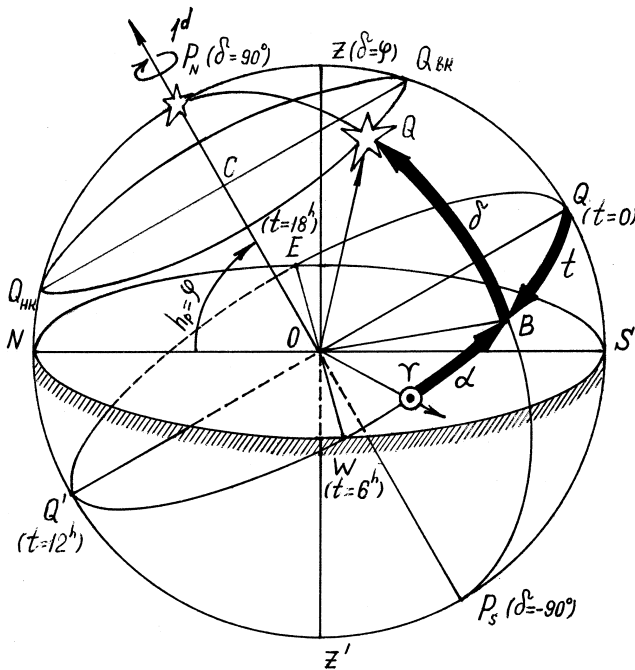


Рис. 1.6. Екваторіальні системи небесних координат; стрілками вказано напрями відліку годинного кута t , прямого піднесення α і схилення δ

Годинний кут t світила вимірюється від найвищої точки небесного екватора Q уздовж небесного екватора в напрямі заходу до кола схилення світила. Визначають його не в градусній, а в годинній мірі — від 0^h до 24^h . Перехід від одних одиниць до інших простий: оскільки за добу, тобто за 24 години, Земля (і небесна сфера) здійснює оберт на 360° , то за 1 годину вона повертається на кут $360^\circ : 24 = 15^\circ$. Звідси $1^h = 15^\circ$, $1^m = 15'$, $1^s = 15''$, $1^\circ = 4^m$.

Схилення δ світила вимірюють дугою від небесного екватора уздовж кола схилень до світила. Обчислюють у градусах від 0° до $+90^\circ$ у бік Північного полюса світу і від 0° до -90° у південній півкулі небесної сфери.

У другій системі екваторіальних координат використовують пряме піднесення світила (за старою термінологією — пряме сходження) α і схилення δ . *Пряме піднесення* α світила вимірюють дугою від точки весняного рівнодення Υ уздовж небесного екватора *назустріч* видимому обертанню небесної сфери до кола схилення світила. Обчислюють α теж у годинній мірі: від 0^h до 24^h . Друга координата δ — така ж, як і в першій екваторіальній системі.

Екліптична система небесних координат. Для зручності під час визначення положень на небі Сонця, Місяця і планет, що рухаються практично уздовж екліптики, ще давні астрономи запровадили *екліптичну систему координат* (рис. 1.7). Основною площиною у ній є

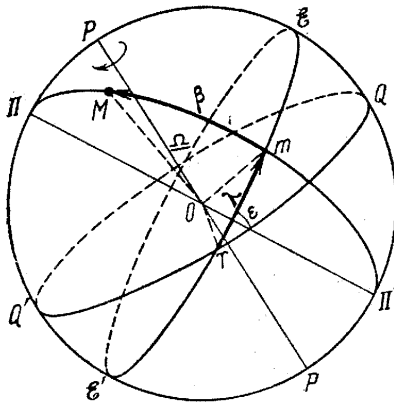


Рис. 1.7. Екліптична система координат

площина екліптики. Перпендикуляр до цієї площини, проведений через центр небесної сфери, перетинає небесну сферу в *полюсах екліптики*. Велике коло, яке проходить через полюси екліптики і світило, називається *колом широти*. У цій системі вимірюють екліптичну довготу λ екліптичну широту.

Екліптичну довготу λ світила вимірюють (у градусах) від точки весняного рівнодення Υ уздовж екліптики, *назустріч* добовому обертанню небесної сфери, до кола широти світила. *Екліптичну широту* β визначають уздовж

кола широти від екліптики до світила, вимірюють також у градусах від 0° до $+90^\circ$, у напрямі до північного полюса екліптики, що у сузір'ї Дракона, і від 0° до -90° до південного полюса екліптики.

Кульмінації світил. *Кульмінацією* називається явище проходження світила через небесний меридіан. Упродовж доби відбуваються дві кульмінації: *верхня* (в тій із двох точок перетину меридіана, котра ближче до зеніту) та *нижня* (світило перетинає меридіан далі від зеніту).

Географічна широта спостерігача φ , схилення світила δ і його висота h у момент кульмінації пов'язані між собою елементарними співвідношеннями, які легко визначити з рис. 1.8, де показані куль-

мінації для спостерігача у північній півкулі Землі. Зокрема, якщо верхня кульмінація відбувається на південь від зеніту, то висота світила у цей момент $h_{\text{вк}} = (90^\circ - \varphi) + \delta$. Звідси, якщо схилення світила $\delta < -(90^\circ - \varphi)$, то воно ніколи не з'являється над горизонтом спостерігача. Інші випадки читач тепер зможе виразити формулами самостійно. Звернемо увагу тільки на нижню кульмінацію світила із схиленням $\delta > +(90^\circ - \varphi)$: воно ніколи не ховається під горизонт.

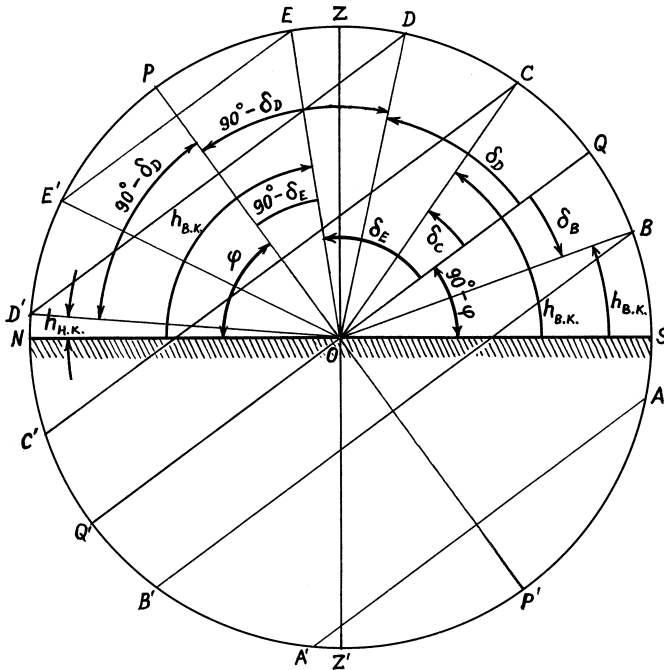


Рис. 1.8. Залежність висоти світила в кульмінації $h_{\text{вк}}$ і $h_{\text{нк}}$ від географічної широти спостерігача φ і схилення світила δ

Порівняння систем небесних координат. Як бачимо, горизонтальна система небесних координат є дуже простою і зрозумілою. Однак обидві координати світила внаслідок добового обертання небесної сфери *безперервно змінюються*. І, що не менш важливо, світило має азимут A і висоту h в якийсь момент часу саме для конкретного спостерігача. Для іншого спостерігача, який перебуває на відстані кілька сотень або тисяч кілометрів, ситуація буде зовсім іншою. Для кияни-

на, скажімо, у деякий час Сонце заходить, і його азимут $A = 90^\circ$, тоді як для едмонтонця (Канада) воно в цей час сходить і має азимут 270° . Однак, якби йшлося про якесь слабке світило, то довго мусив би перший спостерігач пояснювати другому, що він бачить у себе на заході й що той має шукати «там» на сході!

Перша екваторіальна система є дуже зручною, оскільки одна з координат (схилення δ) не змінюється (крім Місяця, який досить швидко рухається на тлі зір), друга (годинний кут t) змінюється рівномірно (і дуже наочно; якщо $t = 0^h$ — світило у верхній кульмінації, якщо $t = 12^h$ — у нижній). Проте як передати свої спостережні висновки тому ж спостерігачеві з Едмонта? У нього свій небесний меридіан і, так би мовити, свої кульмінації. Мусимо до відомостей про годинний кут додавати інформацію «коли це відбулося», а він уже, виконавши додаткові обчислення, дізнається, про яке світило йшлося. Однак ми повинні знати: *під час спостережень за допомогою телескопа використовують саме цю систему небесних координат*. Скерувавши трубу в потрібному напрямі, вмикаємо годинниковий механізм, який і повертає інструмент услід за об'єктом.

Друга екваторіальна система небесних координат аналогічна координатам на поверхні Землі. На Землі є географічна довгота λ і широта φ , у небі — відповідно пряме піднесення α і схилення δ . Якщо вчений записав, що спостерігав світило з координатами $\alpha = 6^h43^m$; $\delta = -16^\circ35'$ у місті з координатами $\lambda = +30^\circ32'$ і $\varphi = +50^\circ27'$, то його колеги у сьомо світі зразу ж скажуть: це зоря Сіріус, а місто — Київ.

Що треба врахувати? Є деякі причини, що призводять до змін у величинах координат.

Перша з них — рефракція. *Астрономічною рефракцією* називають явище відхилення світлового променя від прямолінійного напрямку під час його проходження через атмосферу Землі (рис. 1.9). Рефракція ніби піднімає світило над горизонтом на кут ρ , який називається *кутом рефракції* та залежить від висоти h і властивостей атмосфери. На горизонті кут рефракції в середньому дорівнює $35'$, тобто перевищує кутові розміри Сонця і Місяця (вони близькі до $31'$). Отже, у момент, коли від горизонту відривається нижній край сонячного чи місячного диска, насправді весь диск ще під горизонтом. Під час заходу цих світил, навпаки, у момент, коли нижній край їхніх дисків торкається горизонту, світило вже цілком під горизонтом. В окремих випадках кут рефракції досягає 2° . Рефракція залежить від стану атмосфери, перш за все від температури та тиску, але завжди зменшує

зенітну відстань (збільшує висоту). Низько над горизонтом астрономи звичайно не спостерігають, а на висоті 45° рефракція в середньому дорівнює $1'$ (легко запам'ятати).

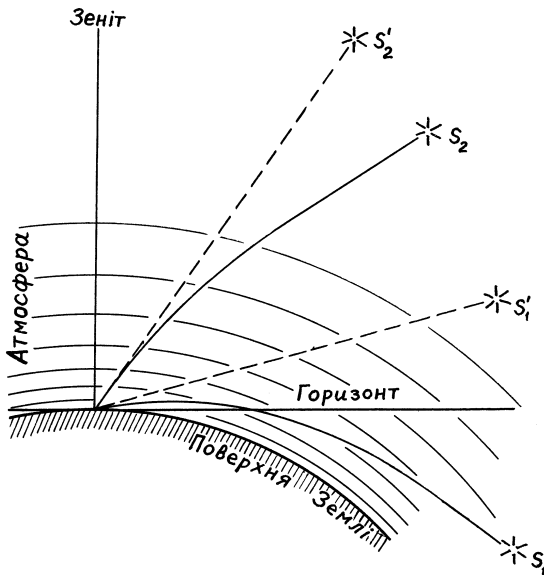


Рис. 1.9. Вплив атмосферної рефракції: світило S_1 перебуває під горизонтом, але внаслідок рефракції його видно над горизонтом у напрямі S_1' , світило S_2 ми бачимо в напрямі S_2'

Друга причина — *прецесія* (випередження рівнодень): координати α і δ світил хоч і повільно, але безперервно змінюються, оскільки *точка весняного Υ* (і відповідно осіннього) *рівнодення зміщується серед зір уздовж екліптики назустріч видимому річному рухові Сонця з кутовою швидкістю $50,26''$ за рік або 1° за кожні 72 роки* (рис. 1.10).

Явище прецесії виявив грецький астроном *Гіннарх* за 150 років до н.е. Про що ж ідеться? Про дуже повільне пересування уявної точки перетину двох уявних кіл. Незначний екскурс в історію дасть змогу глибше зрозуміти важливість зберігання результатів астрономічних спостережень упродовж століть. Трапилося так, що за 169 років до Гіннарха два грецьких астрономи *Аристілл* і *Тимохаріс* спостерігали повне місячне затемнення в ніч весняного рівнодення. Про те, що було рівнодення, вони знали, оскільки від заходу Сонця до сходу

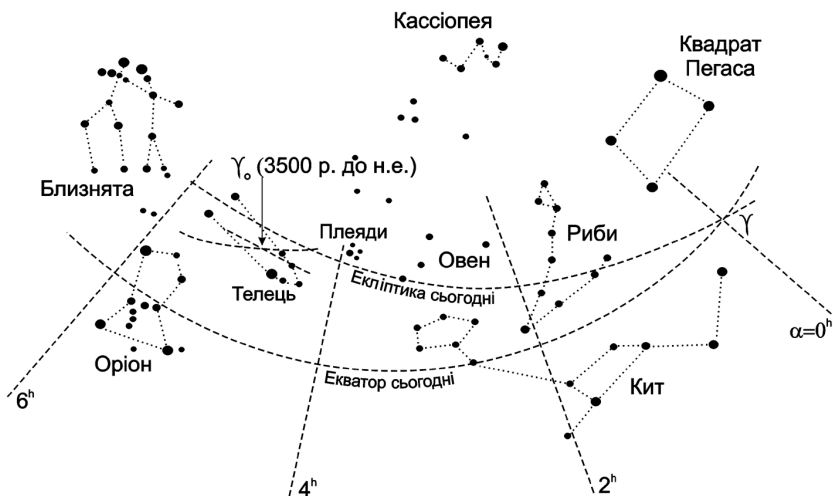


Рис. 1.10. Зміщення точки весняного рівнодення Υ назустріч рухові Сонця — причина безперервної зміни небесних координат α і δ зір; Υ_0 — положення точки весняного рівнодення 3500 р. до н. е.

з посудини через малесенький отвір у її дні витекло стільки ж води, скільки й від сходу до заходу, і якщо центр диска Сонця тоді проєктувався на точку весняного рівнодення, то центр диска Місяця в момент його найглибшого входження в тінь Землі (див. розділ 4) — на точку осіннього рівнодення. Ці астрономи здогадалися виміряти і записати кутову відстань центра диска Місяця у цей момент від зорі Спіка (α Діви). Таке ж затемнення і в таку ж ніч спостерігав Гіппарх. Провівши аналогічні вимірювання, він виявив, що за 169 років Спіка наблизилася до точки осіннього рівнодення на 2° , що давало середнє зміщення точки Υ $43''$ за рік. Вимірювання, звичайно, були неточними, але явище виявлено! Пояснив його Ньютон. Оскільки Земля не є кулею, а дещо сплюснута біля полюсів, то можна образно сказати, що до кулі «додано у вигляді кільця деяку масу», і цей приекваторіальний шар Місяць і Сонце притягують наче окремо від основної маси Землі (рис. 1.11а). Завдяки цьому з'являється сила, яка ніби намагається поставити вісь добового обертання Землі перпендикулярно до екліптики. Земля «опирається» цьому, тому її вісь описує у просторі конус (рис. 1.11б). Подібне до цього явище можемо побачити, якщо розкручена дзиґа починає зменшувати кутову швидкість обертання. Центр

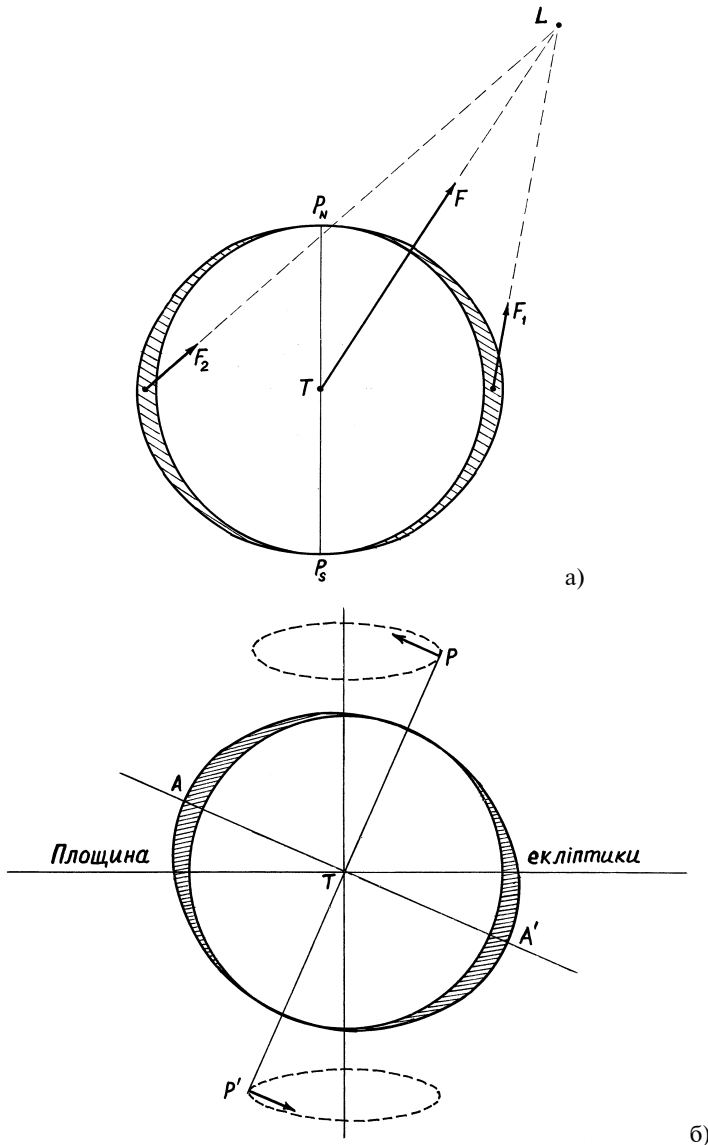


Рис. 1.11. Прецесія: а) сили, що діють на земний сфероїд; б) конус у просторі, що його описує вісь добового обертання Землі, є наслідком відхилення форми Землі від сферичної

її маси є на деякій висоті над точкою опори. Сила тяжіння намагається покласти вісь обертання дзиги горизонтально. Тому й виникає прецесійний рух — вісь обертання дзиги описує конус.

Унаслідок прецесії сітка екваторіальних координат на небесній сфері повільно зміщується. Зокрема, Північний полюс світу приблизно за 26000 років описує на небі коло з кутовим радіусом $23,5^\circ$ (рис. 1.12). Близько 5000 років тому Полярною зорею була зоря α Дракона, а через 12000 років цей полюс буде недалеко від зорі Веги (α Ліри).

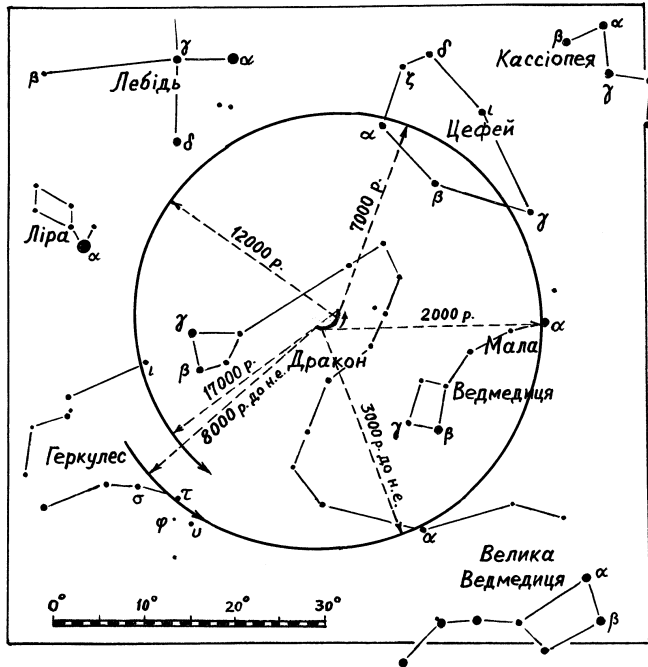


Рис. 1.12. Рух Північного полюса світу серед зір унаслідок прецесії

Усе це важливо знати ось чому. Близько 2000 років тому астрономи розділили екліптику на 12 однакових частин по 30° і кожну дугу позначили знаком відповідного сузір'я, через яке тоді проходило Сонце (це так звані *зодіакальні* сузір'я, див. розділ 2). За ці дві тисячі років унаслідок прецесії точка весняного рівнодення змістилася на 28° і перейшла з сузір'я Овна у сузір'я Риб, але традиційно позначається знаком Овна. У майбутньому вона перейде до Водолія і далі... Іноді

астрономи лякають настанням «ери Водоля», але ж поділ на сузір'я — чисто умовний засіб (такий само, як поділ великого міста на райони) і не має будь-якого фізичного значення.

Ми коротко розповіли про рефракцію та прецесію. Є й інші, менш помітні «тонкі ефекти». Наприклад, кут між площинами екліптики та екватора у теперішні часи зменшується — у старих підручниках астрономії вказано, що $\epsilon = 23^\circ 27'$, тоді як зараз $\epsilon = 23^\circ 26'$. Внаслідок цього зараз полярні кола дуже повільно рухаються до полюсів, а тропіки — до екватора. У XIX столітті Північне полярне коло проходило південним берегом затоки Мелфіорден в Норвегії (правим на рис. 1.13), а зараз воно йде вздовж північного берега (лівого на знімку). Зменшення нахилу згодом зміниться збільшенням, і повний цикл триває приблизно 40 тисяч років, причому ϵ змінюється від 22° до 25° . Саме тому полюс світу на рис. 1.12 описує не коло, а спіраль.



Рис. 1.13. Затока Мелфіорден: за півтора століття Північне полярне коло перейшло з берега на берег

Про зв'язок систем небесних координат. Ми вже знаємо, що є дві екваторіальні системи небесних координат. Як же вони між собою пов'язані? З рис. 1.6 бачимо, що сума двох вимірюваних уздовж небесного екватора дуг — прямого піднесення α і годинного кута t — для будь-якого світила дорівнює годинному куту точки весняного рівнодення $t_{\text{р.}}$: $\alpha + t = t_{\text{р.}}$. Згодом ми побачимо, що цією сумарною дугою вимірюють *зоряний час*. Це співвідношення записують:

$$\alpha + t = s. \quad (1.1)$$

Отже, знаючи α і s (для цього на обсерваторіях є зоряні годинники, а інший метод визначення наведено нижче), обчислюють координату t .

Перехід від екваторіальних систем небесних координат до горизонтальної (від t і δ або α і δ до A і h або z) і навпаки здійснюють за до-

помогою формул сферичної геометрії, котру ще називають сферичною тригонометрією.

Для переходу від екваторіальних координат до горизонтальних використовують співвідношення:

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t, \quad (1.2)$$

$$\sin z \sin A = \cos \delta \sin t, \quad (1.3)$$

а також

$$\sin z \cos A = -\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos t. \quad (1.4)$$

При значеннях годинного кута t , близьких до 0° і 180° , азимут світила A ліпше обчислювати за формулою (1.3), якщо ж t близький до 90° і 270° — за формулою (1.4). Квадрант для азимута A визначається знаком правих частин формул. Оскільки з астрономічних календарів беруть координати α і δ , то для попереднього обчислення годинного кута t використовують співвідношення (1.1).

Для обчислення екваторіальних координат світила t і δ за відомими його горизонтальними координатами A та z використовують співвідношення:

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z - \cos \varphi \sin z \cos A, \quad (1.5)$$

$$\cos \delta \sin t = \sin z \sin A, \quad (1.6)$$

$$\cos \delta \cos t = \cos \varphi \cos z + \sin \varphi \sin z \cos A. \quad (1.7)$$

Знак схилення δ визначається знаком $\sin \delta$, а квадрант для t вибирають за знаком правої частини формул (1.6) та (1.7). Використання першої чи другої з них зумовлюється так, як і у попередній групі.

Формула (1.2), мабуть, найбільш популярна. Бо знання зенітної відстані необхідне як для визначення рефракції, так і для врахування послаблення світла в атмосфері при точній фотометрії небесних світил.

Використовуючи рухому карту зоряного неба (див. далі у розділі 2.2), можна приблизно проконтролювати правильність обчислень.

Кarti зоряного неба. Як за допомогою системи географічних координат (λ і φ) складають карти земної поверхні, так за допомогою другої екваторіальної системи складають карти зоряного неба. Оглядові карти складають або у вигляді круга (чи двох півкуль) або в прямокутній проекції. В атласах зоряні карти, в залежності від положення зображуваної ділянки, складають у різних проекціях, подібно до

географічних карт окремих країн. Зауважимо, що пряме піднесення α відкладають *справа наліво*. На оглядових картах для спостерігачів північної півкулі Північний полюс світу розташований у центрі карти, пряме піднесення позначене на її обводі, схилення — на радіальних лініях. Дати на обводі такої карти вказують положення Сонця на екліптиці впродовж року.

1.2. СИСТЕМИ ЛІЧБИ ЧАСУ

Як уже зазначалося, ритмічне обертання небесної сфери дало людям природну одиницю лічби часу — *добу*. Однак астрономи розрізняють сонячні й зоряні доби, тобто мають дві системи часу — сонячний і зоряний.

Сонячний час. *Справжньою сонячною добою* називається проміжок часу між двома послідовними нижніми кульмінаціями центра диска Сонця.

Справжній сонячний час — це час, що минув від нижньої кульмінації центра диска Сонця. Позначають його T_{\odot} (\odot — знак Сонця).

Тобто за початок доби приймають північ, тоді Сонце опиняється найнижче під горизонтом і перетинає «там» небесний меридіан. Отже, це доводить, що в кожному пункті Землі з географічною довготою λ є свій місцевий час.

Справжній сонячний час показує сонячний годинник (докладно про сонячні годинники ми розкажемо в розділі 3). З двох причин справжній сонячний час, на відміну від фізичного часу — нерівномірний. Перша причина полягає в тому, що видима траєкторія Сонця серед зір, тобто екліптика, поблизу рівнодень нахилена до небесного екватора, а поблизу сонцестоянь практично паралельна до нього. Тому навесні і восени пряме піднесення Сонця змінюється повільніше, ніж взимку чи влітку, навіть якщо екліптична довгота Сонця змінюється однаково (рис. 1.14).

Друга причина — це нерівномірний рух Землі навколо Сонця внаслідок еліптичності земної орбіти. На початку січня швидкість Землі найбільша, а на початку липня — найменша. Для земного спостерігача екліптична довгота Сонця змінюється нерівномірно, тобто $\Delta\lambda$ за 1 добу різне на протязі року.

У підсумку пряме піднесення Сонця змінюється досить складно, і кульмінації його настають через неоднакові проміжки часу, які лише в

середньому рівні $24^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}}$. Справжня сонячна доба найкоротша 16 вересня, найдовша 23 грудня, і ця різниця в тривалості досягає 51 с.

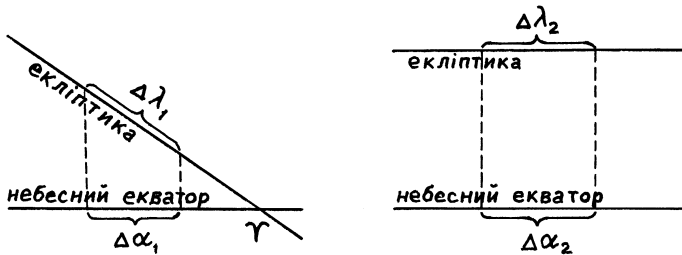


Рис. 1.14. Видима траєкторія Сонця поблизу рівнодень (а) і сонцестоянь (б)

Для того, щоб спростити вимірювання, астрономи запровадили поняття *середнього Сонця*, яке рівномірно рухається по небесному екватору з кутовою швидкістю $3^{\text{m}}56^{\text{s}}$ (тобто $0,9857^{\circ}$ за добу) і вимірює *середній сонячний час* T_{λ} .

Середньою сонячною добою називається проміжок часу між двома послідовними нижніми кульмінаціями середнього Сонця, отже, середній сонячний час T_{λ} — це час, що минув від нижньої кульмінації середнього Сонця.

Момент верхньої кульмінації центра диска Сонця (відповідно середнього Сонця) називається *справжнім (середнім) полуднем*, у нижній кульмінації буде відповідно *північ*.

Реально ми спостерігаємо справжнє Сонце, зокрема можемо зафіксувати його проходження через небесний меридіан (у цей момент тіні від вертикальних предметів найкоротші). Однак годинники наші показують середній сонячний час (про це див. далі). Зв'язок між справжнім сонячним часом T_{\odot} і середнім сонячним часом T_{λ} , виміряним на тому ж меридіані, описує рівняння часу

$$\eta = T_{\lambda} - T_{\odot}.$$

Рівнянням часу називають і саму величину η , яку обчислюють наперед і наводять на кожний день у всіх астрономічних щорічниках. Наближено рівняння часу можна визначити з рис. 1.15.

Найбільша розбіжність між положеннями справжнього Сонця і середнього буває 12 лютого (тоді $\eta = +14$ хв. 17 с) і 3–4 листопада ($\eta = -16$ хв. 24 с). Чотири рази в рік, 15–16 квітня, 13–14 червня, 1 вересня і 25 грудня, рівняння часу $\eta = 0$.

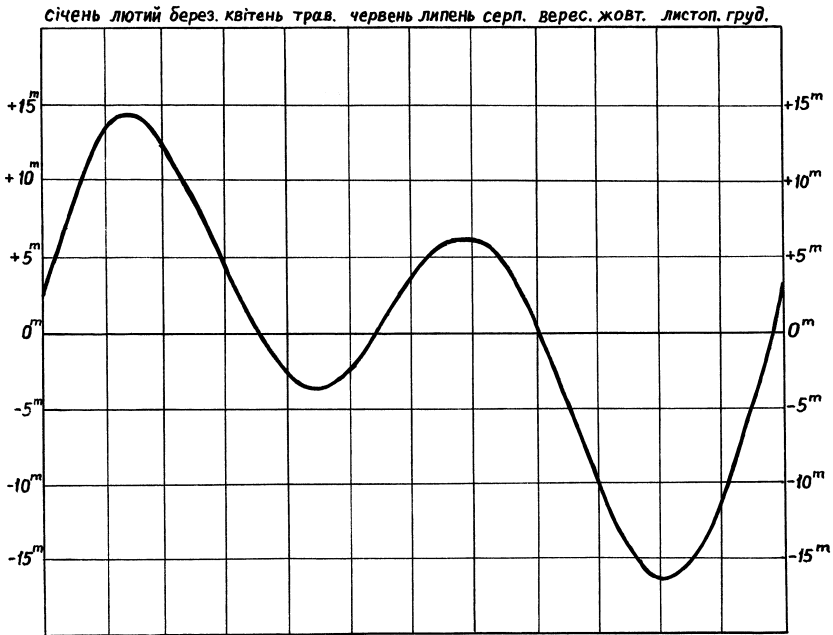


Рис. 1.15. Графік рівняння часу

У день весняного рівнодення $\eta = +7,5$ хв. Це означає, що в добовому обертанні небесної сфери спочатку через меридіан спостерігача проходить середнє Сонце і лише через 7,5 хв. центр диска справжнього Сонця (рис. 1.16).

Поясний, всесвітній і літній час. Упродовж століть люди жили за часом, виміряним на своєму географічному меридіані, тобто за місцевим. Проте з розвитком залізниць виникла потреба упорядкувати лічбу часу. У 1884 р. Міжнародна конференція у Вашингтоні, представлена 26 державами, прийняла систему поясного часу. За цією системою всю земну кулю було поділено на 24 годинні пояси з нумерацією від 0-го до 23-го так, що за довготою один такий пояс дорівнює 15° . Через середину кожного годинного поясу проходить *центральный меридіан* поясу.

Місцевий час центрального меридіана поясу T_n називається *поясним часом*.

За нульовий прийнято *гринвіцький меридіан* (відлік довготи саме від Гринвіча теж запропонувала згадана конференція). Нульовий годин-

ний пояс відповідно простягається за довготою на $7,5^\circ$ на захід і на стільки ж на схід від гринвіцького меридіана.

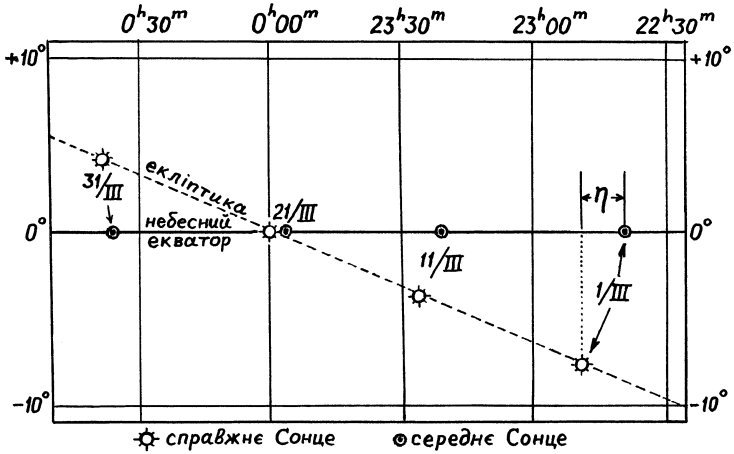


Рис. 1.16. Положення справжнього Сонця і середнього Сонця впродовж березня

Місцевий середній час гринвіцького меридіана T_0 називається *всесвітнім часом*.

Очевидно (рис. 1.17), що місцевий середній сонячний час T_λ для спостерігача, який перебуває на географічній довготі λ , пов'язаний з T_0 так:

$$T_\lambda = T_0 + \lambda.$$

Відповідно поясний час T_n при переході через межу поясу в бік сходу зростає стрибком на 1 год., тоді як хвилинна і секундні стрілки своїх показів не змінюють. Якщо N — номер поясу, що збігається з вираженою в годинах довготою центрального меридіана поясу, то

$$T_n = T_0 + N^h.$$

Для Києва $\lambda = 30^\circ 32' \approx 2^h$, і відповідно $N = 2$ (Київ розташований майже точно на центральному меридіані другого поясу).

Кожний пояс являє собою смугу, межі якої відстоять на 30^m , тобто на $7,5^\circ$ за довготою від центрального меридіана поясу. Але в дійсності межі поясів рідко коли йдуть уздовж меридіанів. Для зручності звичайно їх проводять вздовж державних і адміністративних кордонів,

великих річок та гірських хребтів. Так, в усій Україні годинники показують час другого поясу (Київський час), хоча Ужгород і частина Закарпатської області за довготою розташовані у першому поясі, тоді як схід Харківської, більша частина Донецької та вся Луганська область мали б бути у третьому поясі. Крім того, останнім часом подекуди стали об'єднувати суміжні пояси. Так, уся Європа, за винятком Великої Британії, Ірландії і Португалії, живе за часом 1-го годинного поясу, центральний меридіан якого проходить дещо на схід від Праги. Цей час названо *середньоєвропейським*. У Росії більшість поясів з'єднані попарно. Весь Китай живе за часом Пекіна (восьмий пояс), хоча за довготою Китай простягається від п'ятого пояса до дев'ятого. Деякі країни і території (Індія, Іран, частина Австралії та ін.) встановили для себе час, що відрізняється від «свого» пояса на частки години.

З метою заощадження електроенергії на початку ХХ ст. країни світу почали переходити на *літній час*: в останню неділю березня вночі стрілку годинника переводять на одну годину вперед, а в останню неділю жовтня — назад. Зрештою деякі з країн відмовилися від літнього часу, оскільки електроенергією давно вже користуються не тільки для освітлення, як це було сто років тому. Очевидно, літній час T_{λ} пов'язаний з поясным часом T_{Π} простим співвідношенням

$$T_{\lambda} = T_{\Pi} + 1^h.$$

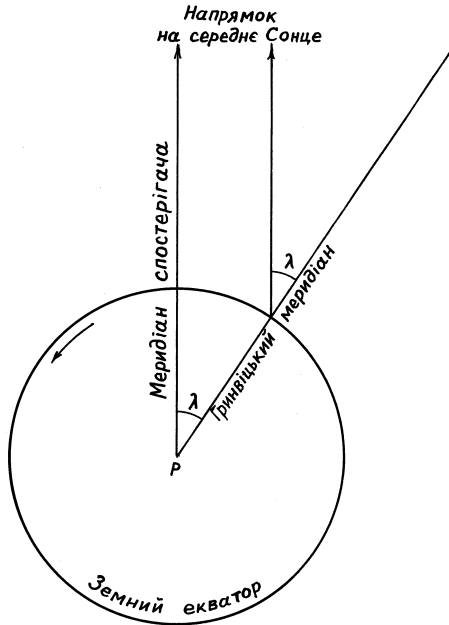


Рис. 1.17. Визначення зв'язку між місцевим T_{λ} і гринвіцьким T_0 середнім сонячним часом: якщо на нульовому меридіані із довготою λ середнє сонце перебуває у верхній кульмінації, то на нульовому меридіані воно є на кутовій відстані λ від небесного меридіана, а його верхня кульмінація відбудеться через λ годин

Повна група формул для взаємного перетворення систем сонячного часу така:

$$\begin{aligned}T_{\lambda} &= T_0 + \lambda; & T_0 &= T_{\lambda} - \lambda; \\T_{\text{п}} &= T_0 + N^h; & T_0 &= T_{\text{п}} - N^h; \\T_{\text{л}} &= T_0 + (N + 1)^h; & T_0 &= T_{\text{л}} - (N + 1)^h.\end{aligned}$$

Через Берингову протоку і водами Тихого океану приблизно вздовж меридіана 180° від Північного полюса Землі до Південного простяглася *лінія зміни дати* (рис. 1.18). У будь-який момент на Землі є меридіан, де зараз північ. На захід від нього час $< 24^h$, на схід — час $> 24^h$, тобто наступна доба. Отже, десь на Землі повинна бути ще одна межа, котра розділяє два сусідні календарні числа. Та ж Вашингтонська конференція встановила цю межу в основному вздовж меридіана з довготою 180° . Це і є лінія зміни дати.

Згаданий рисунок доцільно виготовити як модель з двох концентрично складених кругів, скріплених заклепкою. На верхньому, дещо меншому, нарисована Земля з материками, як їх видно з Північного полюса, проведено географічні меридіани і біля них проставлено довготи. На більшому крузі вказано напрям сонячних променів і відповідно години місцевого сонячного часу.

Прокручуючи менший диск (моделюючи обертання Землі), визначаємо таке:

кожна календарна дата загалом на Землі триває 48 годин;

якщо мандрівник перетинає лінію зміни дати у напрямі на схід, то він потрапляє у вчорашній день, якщо ж на захід — то в завтрашній;

під час кругосвітньої мандрівки в напрямі на схід мандрівник налічує зайву добу, якої насправді не було (як у Ж. Верна у романі «Навкруг світу за 80 днів»), тоді як подорожуючи на захід (як це було із супутниками Магеллана) одну добу втрачає.

Запам'ятаймо правило: якщо корабель перетинає лінію зміни дати, рухаючись на схід (переходить у стару дату), то в судновому журналі зазначають момент перетину, але не виправляють, а наступного дня її повторюють: дві доби записують під одною датою. Якщо лінію зміни дати перетинають у західному напрямі (корабель переходить у нову дату), то наступного дня в журналі ставлять не наступну дату, а ту, що йде після неї (скажімо, після 5-го ставлять 7-ме число місяця).

Зоряний час. Зв'язок сонячного і зоряного часу. Зоряний час, як і сонячний, вимірюється в добах, годинах, хвилинах і секундах. Але ці

одиниці коротші за відповідні сонячні, а саме, 24^h зоряного часу дорівнює $23^h56^m04,0905^s$ сонячного. Це тому, що Сонце «відстає» від зоряного неба у добовому обертанні небесної сфери (внаслідок річного обертання Землі навколо Сонця). Середній сонячний час дорівнює годинному куту середнього Сонця плюс 12 годин, а зоряний час — це годинний кут точки весняного рівнодення. Аналогічно до сонячного, між місцевим зоряним часом s і зоряним часом s_0 , виміряним на нульовому меридіані (див. рис. 1.17), існує такий зв'язок:

$$s = s_0 + \lambda,$$

де λ — географічна довгота спостерігача.

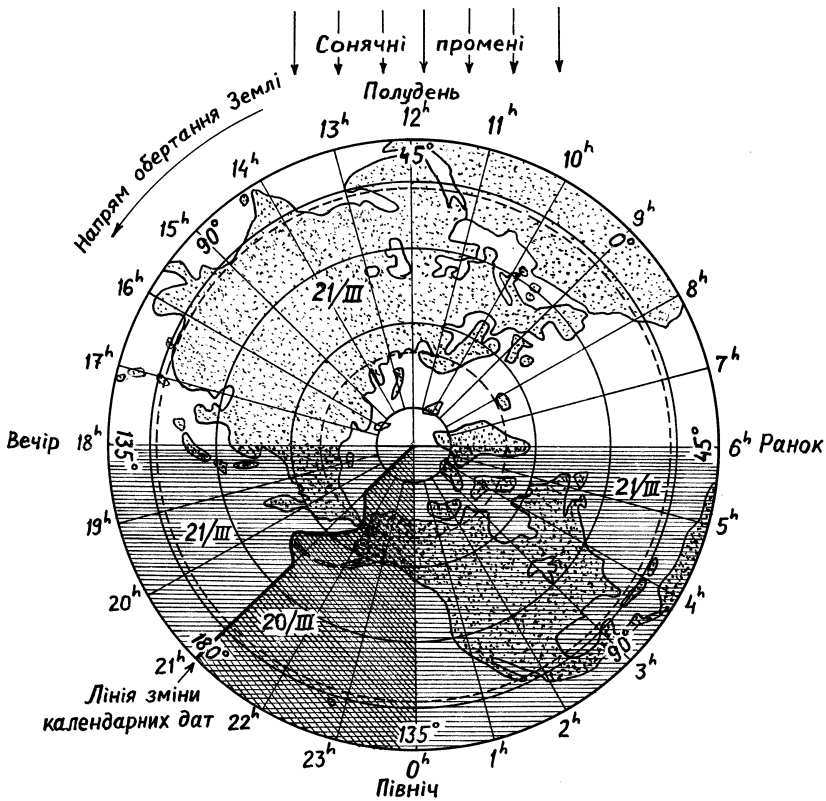


Рис. 1.18. Умова зміни дати на Землі

Гринвіцький зоряний час s_0 на початок доби наводять у всіх «Астрономічних календарях».

Неважко зорієнтуватися, що положення точки весняного рівнодення Υ щодо небесного меридіана визначає умови видимості тих чи інших зір на заданий момент сонячного часу. Знаючи зоряний час, можна обчислити годинний кут світила t при заданому його прямому піднесенні α ($t = s - \alpha$). Який же зв'язок між цими двома системами лічби часу?

Оскільки за добу Сонце зміщується по екліптиці на $0,986^\circ$, то сонячна доба довша від зоряної на 3 хв. 56,555 с, тобто майже на 4 хвилини. За рік ця різниця становить добу: у тропічному році налічується 365,2422 середньої сонячної доби і 366,2422 зоряної. Цей факт означає ніщо інше, як те, що відносно зір Земля впродовж року робить на один оберт більше, ніж відносно Сонця.

Проілюструвати сказане може рис. 1.19. Нехай у день весняного рівнодення, 20 березня, центр диска Сонця збігається з точкою весняного рівнодення саме в момент її верхньої кульмінації. На протязі доби, до полудня 21 березня, Сонце зміститься в бік сходу майже на 1° , тому центр його диска пройде через небесний меридіан на 3 хв. 56 с пізніше, ніж точка Υ .

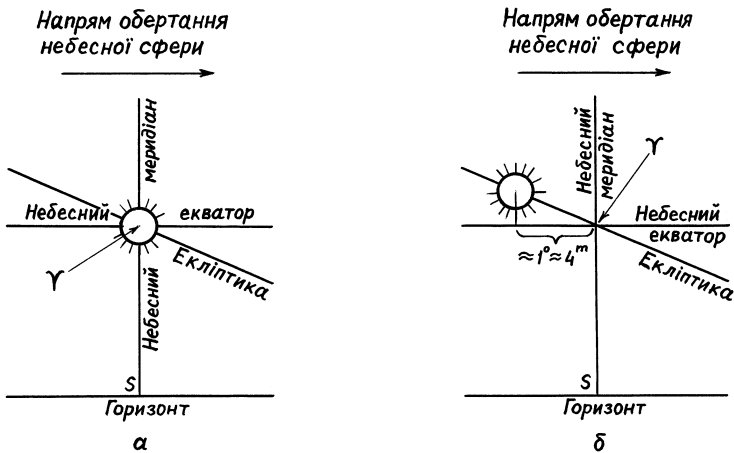


Рис. 1.19. Пояснення різниці в тривалості зоряної та сонячної доби: якщо 20 березня центр диска Сонця збігається з точкою весняного рівнодення Υ у момент її верхньої кульмінації (а), то за добу до півдня 21 березня Сонце зміститься на схід майже на 1° , тому центр його диска пройде через небесний меридіан на 3 хв. 56 с пізніше, ніж точка Υ (б)

Середній сонячний час T_λ і зоряний час s збігаються 23 вересня. Тому у момент нижньої кульмінації Сонця, коли на меридіані спостерігача починається сонячна доба, точка весняного рівнодення Υ перебуває у верхній кульмінації, і починається зоряна доба. Кожного наступного дня точка Υ переходить через небесний меридіан на 3 хв. 56 с раніше, ніж попереднього, тому різниця між сонячним і зоряним часом зростає. Через три місяці, 22 грудня, на початок сонячної доби зоряний час $s_0 = 6$ год., через півроку, 21 березня, у той же момент $s_0 = 12$ год. (Сонце і точка Υ одночасно перебувають у нижній кульмінації, але зоряний час відлічують від верхньої кульмінації точки Υ !) і т. д. Протягом року, до наступного рівнодення набігає ціла зоряна доба.

Якщо «Астрономічного календаря» під руками немає, то значення s_0 можна з похибкою не більше 4 хв. обчислити за наближеною формулою

$$s_0 \approx 6 \text{ год. } 40 \text{ хв. } + 2D,$$

де D — дата, виражена у місяцях та їхніх частинах, яку далі переобчислюємо в години і хвилини. Наприклад, для 10 вересня $D = 8,33 = 8$ год. 20 хв. Тому зоряний час на початок доби 10 вересня $s_0 = 6$ год. 40 хв. + 16 год. 40 хв. = 23 год. 20 хв.

Якщо зоряний час s_0 на початку доби відомий, то визначаємо зоряний час на момент T_λ :

$$s = s_0 + T_\lambda + \Delta T_\lambda,$$

де ΔT_λ — поправка, яка враховує те, що сонячна доба довша від зоряної. Наприклад, якщо $T_\lambda = 12$ год., то $\Delta T_\lambda = 1$ хв. 58 с, якщо $T_\lambda = 6$ год., то $\Delta T_\lambda = 0$ хв. 59 с і т. д. Для точних обчислень використовують табл. 13-А і 14-А (див. Додатки), щоб перевести інтервали середнього сонячного часу в інтервали зоряного і навпаки. Якщо ж обчислення наближені, зокрема, коли визначають умови перебування деяких сузір'їв над горизонтом на деяку годину середнього часу, то поправкою ΔT_λ можна знехтувати.

Переводячи інтервал зоряного часу в інтервал сонячного, відповідну поправку Δs віднімають. При цьому враховують, що одна середня сонячна доба становить 24 год. 03 хв. 56,555 с зоряної.

Календарна мозаїка. Як знаємо, є три періодичні процеси, за допомогою яких люди відлічують проміжки часу. Найперше, це доба. Потім проміжок у 29,53 доби, за який Місяць змінює свій зовнішній

вигляд (фази), або ж обійшовши небо, повертається до Сонця (і «настає новий місяць»). Тому згаданий проміжок у 29,53 доби названо *синодичним місяцем* (від гр. συνωδος — зближення, мається на увазі зі Сонцем). Нарешті, протягом тропічного року, що дорівнює 365,2422 доби, повторюються пори року. На цій основі і збудовано три календарні системи.

Перша — *місячний календар*. Давнім людям було дуже незручно враховувати дробові частки доби для того, щоб починати лічбу днів у новому календарному місяці, скажімо, з появи на вечірньому небі вузького серпа Місяця, яку греки назвали *неоменією* (від гр. νεος — новий, μηνυ — Місяць). Тому зручніше, щоб один календарний місяць мав 29 діб, інший — 30. Однак 0,03 доби, що їх при цьому відкидали, з часом «наростали» до цілої доби, і потрібно було визначити правило, де і коли цей додатковий день вставити. Крім того, 12 синодичних місяців — це 354,36 доби. Приймавши в році 12 календарних місяців, доведеться скоротити рік на 11 діб.

У другій системі час від часу (найдосконаліша система — 7 разів за кожні 19 років, це так званий *метонів цикл*) доводиться вставляти цілий місяць, що має 30 днів. Таким чином, у середньому за деякий проміжок часу (за 19 років) можна підтримувати початок року у тій же порі року, скажімо, на початку весни. Так робили й наші предки. Вони користувалися *місячно-сонячним календарем*.

Були й такі племена, що лічили час у ритмі з Сонцем, а зміною фаз Місяця нехтували (наприклад, давні єгиптяни, хоча й вони для відзначення окремих свят очікували певну фазу Місяця). Ця, третя, система — *сонячний календар*. До речі, звичний наш календар — сонячний.

Проте труднощі виникають і під час використання цього останнього. Від 45 р. до н. е. європейці жили за *юліанським календарем*, котрий запровадив Юлій Цезар і в якому з кожних чотирьох років три мали по 365 діб, один — 366 діб (так званий *високоосний рік*). Однак середня тривалість року за цим календарем 365,25 доби, що на 0,0078 доби (11 хвилин) більше від тропічного року. Із цих хвилин упродовж 128 років набігає ціла доба. Наприклад, якщо колись весняне рівнодення було за календарем 21 березня, то через 128 років — буде 20, ще через 128 років — 19 березня і т. д.

У 1582 р. папа Григорій XIII здійснив календарну реформу: наказав «відкинути» 10 діб, на які відстав календар з 325 року (коли перший Вселенський церковний собор прийняв юліанський календар

для визначення дат святкування Пасхи), і після 4 жовтня лічити не 5, а 15. Так дату весняного рівнодення було повернуто на 21 березня з 11 березня, де вона опинилася за час від 325 року. Щоб уникнути накопичення похибки надалі, у цьому *григоріанському календарі* кожні 400 років вилучають три доби: столітні роки, число століть яких не ділиться без остачі на чотири, вважають простими (такими були 1700, 1800 і 1900 роки, котрі за юліанським календарем — високосні). В результаті у XX столітті різниця між юліанським і григоріанським календарями вже була 13 днів і такою залишилася після 2000 року, оскільки той був високосним за обома календарями. Православна церква користується юліанським календарем, зокрема тому «старий Новий рік», ми святкуємо 14 січня.

Зазначимо, що сьогодні близько 45 країн світу, від Марокко до Індонезії, які сповідують іслам, користуються *місячним календарем*, так що їхній рік налічує 354 або 355 днів, і початок року припадає на різний час за нашим календарем (див. табл. 7-А Додатка).

У державі Ізраїль офіційним є *місячно-сонячний календар*, в якому початок року коливається від 5 вересня до 5 жовтня за нашим календарем, оскільки окремі роки мають не 12, а 13 синодичних місяців (див. табл. 8-А Додатка).

Григоріанський календар є достатньо точним: тут одна доба набігає приблизно за 3300 років. Отже, якщо говорять про реформу календаря, то мають на увазі перерозподіл днів у місяцях і введення одного дня (або двох у високосному році) без назви з тим, щоб кожен рік починався з неділі (втім, ентузіасти пропонують безліч різних систем). Мета такої реформи — уніфікувати облік робочого та вільного часу впродовж року. Зараз цю проблему визнано неактуальною, по-перше, завдяки використанню комп'ютерів для економічних та бухгалтерських розрахунків, а, по-друге, спочатку треба всім народам перейти на григоріанський календар, а із цим ніхто не поспішає. До того ж, мабуть, було б дуже нудно відзначати якісь події завжди в той самий день тижня, не кажучи вже про те, що день «без числа і дня тижня» виглядає як зухвале порушення багатоговікового безперервного чергування днів тижня. Щодо астрономів, то вони давно вирішили для себе всі календарні проблеми, запровадивши *юліанські дні*.

Система юліанських днів. Для зручності обліку часу при спостереженнях змінних зір, для обчислень дат сонячних і місячних затемнень і т. ін. використовують безперервний облік днів — так звану систему юліанських днів (JD — ЮД), яку запровадив французький учений

Жозеф Скалігер (1540–1609) у 1583 р. Її не слід плутати з юліанським календарем. За початок юліанської дати приймають середній південь на нульовому меридіані (щоб для астронома одна ніч спостережень «не розривалася» двома датами), що настає після середньої гринвіцької півночі відповідної календарної дати. Юліанські дні наводять у всіх астрономічних календарях (на декілька наступних років див. табл. 10-А Додатка). При цьому треба користуватися допоміжними табл. 11-А, 12-А для переведення годин і хвилин у частки доби і навіпаки. Адаже така система дозволяє визначати моменти часу у зручних для обчислень десяткових дробах замість годин, хвилин та секунд.

У календарях звичайно наводять також початок астрономічного (тропічного) року. Він настає в момент, коли пряме піднесення середнього екваторіального Сонця $\alpha = 18^{\text{h}}40^{\text{m}}$.

1.3. ПРИЙОМИ І ЗАСОБИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ. ТЕЛЕСКОПИ

Усім сказаним вище ми відповідали на питання: «де на небі є деякий об'єкт» і «коли його можна спостерігати»? Однак мусимо конкретизувати: а що власне робили давні астрономи, що роблять сучасні й що може аматор астрономії?

Перед астрономами завжди стояло дві важливі проблеми: по-перше, *вимірювання кутових відстаней між світилами*; по-друге, *оцінка зоряних величин світл*.

Сьогодні це, так би мовити, абетка, з якої починаємо вивчення астрономії. Звичайно сучасні методи (наприклад, радіоінтерферометрія з наддалекою базою) дають змогу оцінювати кути з похибкою $\pm 0,0001''$. Однак нижче перелічено низку завдань на спостереження положень світл (Місяця, планет і їхніх супутників), де цілком достатні результати з похибкою $\pm 0,5^\circ$ (а це — кутовий діаметр диска Місяця). Тому кутомірні прилади, що їх можна використати, елементарно прості.

Вимірювання кутових відстаней. Найпростіший варіант кутомірного приладу складається з двох лінійок, коротшу з яких наглухо закріплюють перпендикулярно до довгої. На короткій лінійці дугою з інтервалом 1 см встановлюються шпичаки (цвяхи) (рис. 1.20). Якщо радіус кола 57,3 см, то сантиметровому інтервалу між двома сусідніми шпичаками відповідає кут 1° на небесній сфері. Саме за допомогою такого простого інструмента можна проводити регулярні (скажімо,

кожного вечора в той самий час) вимірювання кутових відстаней планет і Місяця відносно деяких «опорних» зір і з'ясувати особливості руху згаданих світил на небесній сфері.

Для визначення висот світил над горизонтом зручно користуватися транспортиром, на якому закріплюють лінійку з візиром і висок, як це вказано на рис. 1.21.

Для найпростіших вимірювань кутових відстаней можна скористатися тим, що ширина великого пальця на витягнутій руці становить 2° , ширина кулака — 8° , розкритої руки від нігтя великого пальця до нігтя мізинця — близько 20° (рис. 1.22).

Варто запам'ятати також відстані в градусах між окремими зорями Великої Ведмедиці (рис. 1.23). Зокрема, кутова відстань між зорями α і β («задніми колесами Великої Воза») — $5,4^\circ$, а між зорями ζ і g Великої Ведмедиці (Мізаром та Альकोром) — $12'$.

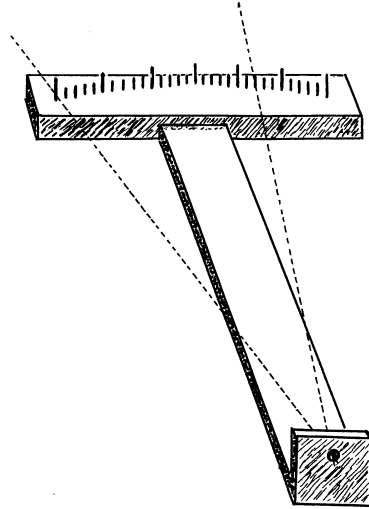


Рис. 1.20. Найпростіша кутомірна лінійка

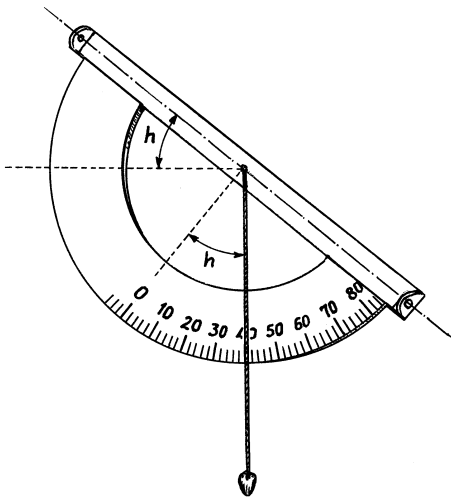


Рис. 1.21. Найпростіший висотомір

Деякі спостереження можна проводити за допомогою бінокля і теодоліта (рис. 1.24). Треба пам'ятати, що у правій трубі польового бінокля є сітка рисок, які називають тисячними. Кут, під яким видно предмет, що вкладається в одну мітку, дорівнює $3,6'$, а $\text{tg } 3,6' = 0,001$. Отже, відстань до земного предмета, який має висоту H , у цьому випадку

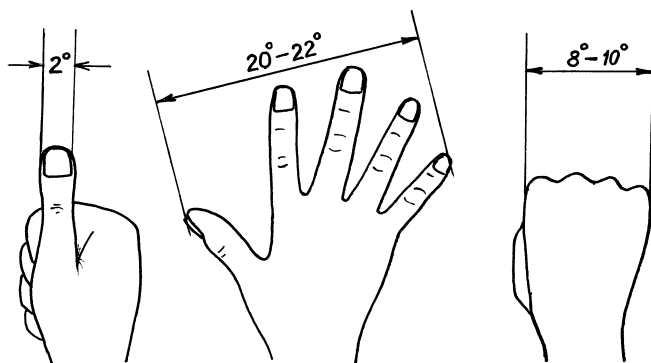


Рис. 1.22. Вимірювання взаємних кутових відстаней світил за допомогою пальців рук

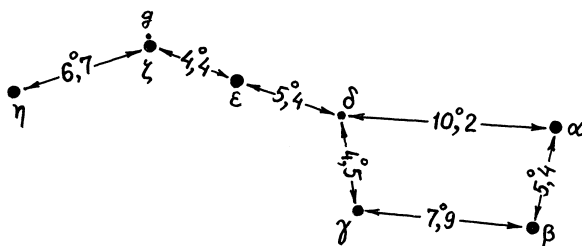


Рис. 1.23. Кутові відстані між зорями Ковша Великої Ведмедиці

становить $1000H$. Якщо той самий предмет вкладається у дві мітки, то відстань до нього удвічі менша і т. ін. У теодолітах кутова відстань між двома крайніми горизонтальними нитками дорівнює $36'$, тангенс цього кута — $0,01$. Якщо якийсь об'єкт висотою H заповнює відстань між згаданими горизонтальними лініями, то він віддалений від спостерігача на відстань $100H$. Саме так за допомогою теодоліта можна проводити безпосередні спостереження кратерів на Місяці, визначати їхні діаметри тощо.

Зоряні величини. Вимірювання світлової енергії, що надходить до Землі від того чи іншого небесного світила, — надзвичайно серйозне завдання одного з розділів астрономії — *астрофотометрії*. Зазначимо, що астрономи вимірюють *освітленості* E — світлові потоки, що надходять за одиницю часу на одиничну площину від деякого світила. Проте історично склалося так, що замість слова *освітленість* вживають слово *блиск*. Обчислюють його у *видимих зоряних величинах* m ; за-

мість виразу «освітленість від світила така-то» кажуть: «блиск зорі дорівнює стільком-то зоряним величинам».

Цю цілком умовну характеристику зорі запровадив давньогрецький астроном Гіппарх у середині II ст. до н. е. Найяскравіші зорі він назвав зорями 1-ї величини (записуємо $m = 1^m$), менш яскраві — зорями 2-ї величини ($m = 2^m$), а ледь помітні — 6-ї величини ($m = 6^m$). З тих часів, звичайно, астрономи розвинули і вдосконалили цю систему наступним чином.

По-перше, між видимою зоряною величиною m зорі та освітленістю E , яку ця зоря створює, є така залежність: $m = -13,89^m - 2,5 \lg E$, якщо вимірювати E в люксах. Звідси зоряна величина джерела світла, котре у місці спостереження створює

$E = 1$ лк ($\lg 1 = 0$), дорівнює $-13,89^m$. Отже, ніякого «свавілля» чи нечіткості під час використання видимих величин немає.

По-друге, порівнюючи блиск зір різних величин, англійський астроном *Норман Погсон* (1829–1891) виявив, що освітленість від зорі 6-ї величини у 100 разів менша, ніж від зорі 1-ї величини. Це можна

записати так: $\frac{E_1}{E_6} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{E_2}{E_3} \cdot \frac{E_3}{E_4} \cdot \frac{E_4}{E_5} \cdot \frac{E_5}{E_6} = 100$, отже $\frac{E_m}{E_{m+1}} = \sqrt[5]{100} \approx 2,512$,

і відношення $\frac{E_m}{E_{m+1}}$ однакове для будь-якої m . Десятковий логарифм

$\sqrt[5]{100}$ дорівнює $\frac{1}{5} \lg 100$, тобто точно 0,4. Отже, зоря $(m+1)$ -ї величини дає освітленість $\frac{1}{5} \lg 100 \approx 2,512$ рази меншу, ніж зоря m -ї величини, а

взагалі $\frac{E_2}{E_1} = 2,512^{m_1-m_2} = 10^{0,4(m_1-m_2)}$, інакше $\lg \frac{E_2}{E_1} = 0,4(m_1 - m_2)$, або

$$m_1 - m_2 = -2,5 \lg \frac{E_1}{E_2}.$$



Рис. 1.24. Теодоліт

Цю залежність називають *формулою Погсона*.

По-третє, шкалу зоряних величин продовжили в обидва боки. Наприклад, уточнено, що видима зоряна величина найяскравішої зорі нічного неба Сіріуса $m_s = -1,46^m$, повного Місяця $m_{\text{я}} = -12,55^m$, Сонця в зеніті $m_{\odot} = -26,58^m$. За формулою Погсона обчислюємо, що при однаковій висоті над горизонтом повний Місяць освітлює земну поверхню в 465 000 разів слабше від Сонця, а Сонце — у 10 млрд разів сильніше, ніж Сіріус.

За допомогою сучасних великих телескопів з використанням найефективніших приймачів енергії реєструється випромінювання зір 31-ї величини, на 25 величин слабших за ті, що бачить неозброєне око. Рахуємо: різниці *на* 5 зоряних величин відповідає відношення освітленостей у 100 разів, різниці *на* 25 величин (5·5) — відношення у 100^5 , тобто ті ж 10 млрд. Таким чином, сучасний телескоп «бачить» у стільки ж разів слабкіші зорі, ніж неозброєне око, у скільки для нас Сонце яскравіше за Сіріус.

Звичайно, під час навчального спостереження найчастіше доводиться мати справу зі світилами, зоряні величини яких є в межах $-4^m \dots 7^m$. Тому доцільно запам'ятати зоряні величини зір Великої і Малої Ведмедиць. На рис. 1.25 вони записані поруч із зображеннями зір. Оцінюють блиск тої чи іншої планети, змінної зорі тощо, порівнюючи світило із зорями, блиск яких відомий і які *найближчі* до нашого світила (принаймні розташовані приблизно на тій самій висоті над горизонтом). Адже навіть чисте повітря у зеніті послаблює блиск зорі в середньому на $0,23^m$, на висоті 30° на $0,4^m - 0,5^m$, а при висоті 10° над горизонтом — на 2^m і більше. Зоряні величини яскравих зір є у нас в таблиці 4-В, а приблизно їх можна взяти з карти зоряного неба (рис. 2.16).

Учені обчислили кількість зір усього неба (до речі, на небесній сфері загалом налічується 41252,96 квадратного градуса). Найяскравіших зір з величинами до 1 є 13, зір від 1^m до 2^m — 27 (див. табл. 4-В Додатка), від 2^m до 3^m — 60. Усіх зір до 4^m — 500, до 5^m — 1600, до 6^m — 4800, до 10^m — 350 000, до 20^m — 1 млрд і до 25^m — близько 30 млрд.

Абсолютні зоряні величини. Визначена зі спостережень видима зоряна величина m не свідчить про справжню потужність — *світність зорі*. Оскільки відстані до зір неоднакові, то близька, хоча й слабка, зоря виглядає яскравішою, ніж далека зоря-гігант. Однак після того, як відома відстань до зорі, можна обчислити, яку зоряну величину вона мала б, якби вона була на однаковій для всіх стандартній відста-

ні. За таку відстань прийнято 10 парсек (скорочено пк, про парсеки сказано трохи нижче), що дорівнює $3,09 \cdot 10^{14}$ км.

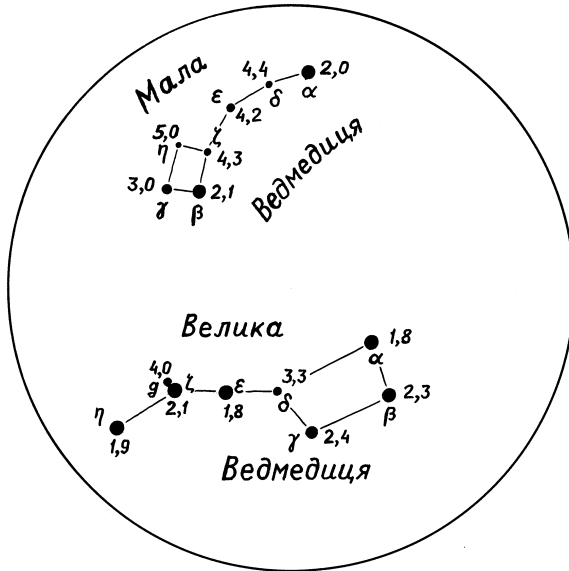


Рис. 1.25. Видимі зоряні величини зір Великої та Малої Ведмедиць

Зоряна величина M , яку мала б зоря, якби була на відстані 10 пк, називається *абсолютною зоряною величиною*. Зв'язок абсолютної зоряної величини M з видимою величиною світила m при відомій відстані до нього r впливає з формули Погсона, а також з умови, що освітленості E та E_0 , створювані світилом відповідно з відстаней r і r_0 , обернено пропорційні квадратам відстаней. У цих розмірковуваннях приймають, що $r_0 = 10$ пк. При цій відстані освітленість становить E_0 і відповідна зоряна величина світила M . Виконавши нескладні перетворення, отримуємо одну з найважливіших формул астрономії:

$$M = m + 5 - 5 \lg r.$$

Різниця видимої та абсолютної зоряних величин називається *модулем відстані*: $m - M = 5(\lg r - 1)$.

Зробивши це переобчислення для Сонця ($r = 1/206265$ пк, див. нижче), отримуємо його абсолютну зоряну величину $M_{\odot} \approx +4,96^m$ (заокруглено $M_{\odot} = +5^m$).

Якщо M_{\odot} і M зорі відомі, то за формулою Погсона можна зіставити потужності Сонця і зір, тобто їхні світності L_{\odot} і L . При цьому світність Сонця ($L_{\odot} = 3,85 \cdot 10^{26}$ Вт) приймають за одиницю, отже, $L = 10^{0,4(M_{\odot} - M)}$. У той спосіб вирішують одне з найважливіших завдань астрономії. Як дізнаємося згодом, знаючи світності, принаймні для 90 % зір, можна визначити їхню масу M (знову таки у масах Сонця $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг).

Визначення відстаней. Грецьке слово *παράλλαξις* означає відхилення. *Паралаксом* називається зміна видимого положення предмета внаслідок зміни точки спостереження.

Два спостерігачі, один, приміром, в Ісландії, а другий — на Вогняній Землі, одночасно побачать Місяць в різних положеннях серед зір. Північний спостерігач побачить Місяць зміщеним на південь серед зір, тоді як для південного спостерігача Місяць буде розташований північніше. Різниця в прикладі сягатиме $1,5^{\circ}$, тобто цілих трьох видимих діаметрів Місяця! Тут суттєвою є близькість Місяця у порівнянні із зорями, відстані до яких у сотні мільйонів і мільярди разів більші. Якщо б Місяць був ще вдвічі ближче, це паралактичне зміщення було б удвічі більшим. І навпаки, чим більша відстань, тим менше паралактичне зміщення. Так, Марс навіть у великому протистоянні для наших спостерігачів показав би зміщення тільки на $0,6'$. Тому до XVIII

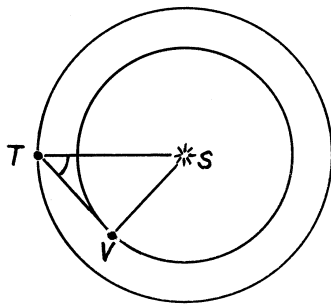


Рис. 1.26. Визначення відстані Венери від Сонця

століття астрономи певно знали тільки відносні відстані у Сонячній системі, в одиницях середньої відстані Землі від Сонця (*астрономічних одиницях*, а. о.). Завдяки тому, що форма планетних орбіт близька до кола, це можна зробити досить просто. Так, кутова відстань нижньої планети від Сонця у найбільшій елонгації визначає радіус її орбіти. На рис. 1.26 T — Земля, V — Венера. Кут найбільшої елонгації для Венери (кут STV) дорівнює 48° . Тоді відстань від Сонця до Венери:

$$SV = ST \sin \angle STV = ST \sin 48^{\circ} \approx 0,7ST \approx 0,7 \text{ а. о.}$$

Більш складна обробка тривалих спостережень планет дає можливість за розмірами петлі, що її «креслить» планета на тлі зір, визначити розмір орбіти цієї планети. Тому план Сонячної системи давно був

побудований. Залишалось тільки визначити *масштаб*, тобто величину астрономічної одиниці. Починаючи з XVIII століття вимірювання паралактичних зміщень планет на тлі зір, а також спостереження із різних точок Землі проходжень Венери та фоні диска Сонця надали можливість, нарешті, визначити величину астрономічної одиниці. До 60-х років XX століття приймалося, що 1 а. о. — 149,5 млн км. Радіолокація планет уточнила це число: 1 а. о. = 149,6 млн км.

Відстані до зір величезні порівняно із розмірами Сонячної системи. Тут на допомогу приходить так званий річний паралакс: зміщення зорі впродовж року внаслідок орбітального руху Землі. Найбільшим (і тому точніше вимірюваним) це зміщення буде тоді, коли напрямки на Сонце і зорю відрізняються на 90° (рис. 1.27).

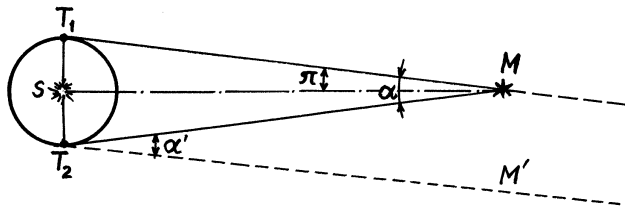


Рис. 1.27. Річний паралакс

Щоб виміряти кут α , треба якось зберегти напрямок T_1M у просторі, тобто пряму $T_2M' \parallel T_1M$. Для цього використовують далекі зорі, на тлі яких видно зорю M . Але звідки відомо, що вони набагато дальші? Їх треба обирати значно слабшими, а ще краще вимірювати положення M на тлі галактик. Таким чином, вимірюючи з Землі кут α' , ми тим самим визначаємо $\alpha = \alpha'$. Це кут, під яким із зорі M видно діаметр земної орбіти. Навіть для близьких зір $\alpha < 1,6''$! Тому паралактичні зміщення були вперше виміряні менш ніж два сторіччя тому.

Річним паралаксом π (вимірюється у секундах дуги, або у тисячних частках секунди) називається половинний кут, тобто кут, під яким із зорі видно радіус (точніше, велику піввісь) земної орбіти. У 1837 р. В. Струве (Росія) визначив паралакс Веги ($\pi = 0,125''$, сучасне значення $0,130''$), у 1839 р. Ф. Бессель (Німеччина) — паралакс 61 Лебедя ($\pi = 0,314''$, сучасне значення $0,286''$), у тому ж році Т. Гендерсон і Т. Маклір (Південна Африка) — паралакс α Центавра ($\pi = 0,976''$, сучасне значення $0,747''$).

Якщо у Сонячній системі найзручніша одиниця відстані — *астрономічна одиниця* (а. о.), то відстані між зорями вимірюють у парсеках.

1 *парсек* (пк) — це відстань, з якої 1 а. о. видно під кутом 1". Отже, відстань d у парсеках дорівнює: $d = \frac{1}{\pi''}$. Із трикутника T_1MS маємо:

$$d = \frac{T_1M}{\sin \pi}$$

Оскільки π дуже малий, $d = \frac{T_1M}{\sin \pi} = \frac{T_1M}{\text{tg} \pi} = \frac{T_1M}{\pi}$, де π беремо у радіанах. Але π вимірюється в секундах, а 1 радіан = 206265", тоді

$$d = \frac{T_1M}{\pi''} \cdot 206265$$

Звідси маємо: 1 ПК = 206265 а. о.

Прогрес астрономічної техніки довів точність визначення паралаксів до 0,001", іноді навіть до кількох десятитисячних секунди. Тому порівняно невеликі відстані ми знаємо досить точно, чого не можна сказати про великі. Наприклад, у Сіріуса $\pi = 0,379'' \pm 0,001''$. Обчислимо відстані для $\pi_1 = 0,378''$ та $\pi_2 = 0,380''$: $d_1 = 2,646$ ПК; $d_2 = 2,632$ ПК, різниця 0,014 ПК. Це — одна із найближчих зір. У Спірки $\pi = 0,012'' \pm 0,001''$, тобто $\pi_1 = 0,011$, $\pi_2 = 0,013$. Відповідні відстані 91 ПК та 77 ПК, різниця 14 ПК. У Бетельгейзе $\pi = 0,008'' \pm 1''$, тоді $d_1 = 143$ ПК, $d_2 = 111$ ПК, різниця більше 30 ПК.

Отже, вимірювання річних паралаксів дозволяє надійно визначити відстані десь до 100 ПК. Більші відстані обтяжені великими похибками. Але це єдиний прямий спосіб визначення відстані. Річні, або інакше, тригонометричні паралакси, надали астрономам можливість розробити інші, непрямі методи визначення відстаней. Так, знаючи відстані до зір, можна обчислити їхні світності. Виявилось, що світності пов'язані з певними особливостями спектра. Тепер, якщо зоря так віддалена, що тригонометричний паралакс не визначається, але спектр її добре досліджений, то за допомогою останнього можна визначити світність (абсолютну величину) цієї зорі і, знаючи видиму величину, за допомогою модуля відстані обчислити відстань. Знайдений у такий спосіб відстані відповідає, звичайно, певний паралакс, котрий зветься *спектральним* (хоча, власне, ніяке паралактичне зміщення не вимірюється).

Інструменти. Вибір інструментів, за допомогою яких можна проводити навчальні та аматорські спостереження, досить великий. Це передусім біноклі, а також різноманітні телескопи. Як відомо, телескопи поділяються на рефрактори (об'єтив, що створює зображення світила, прозорий і знаходиться на передньому кінці труби, рис. 1.28) та рефлектори (об'єтив — дзеркало, розташоване «на дні» труби, рис. 1.29). Серед старих моделей згадаємо 80-міліметровий рефрактор та 70-міліметровий менісковий телескоп системи Д. Д. Максудова

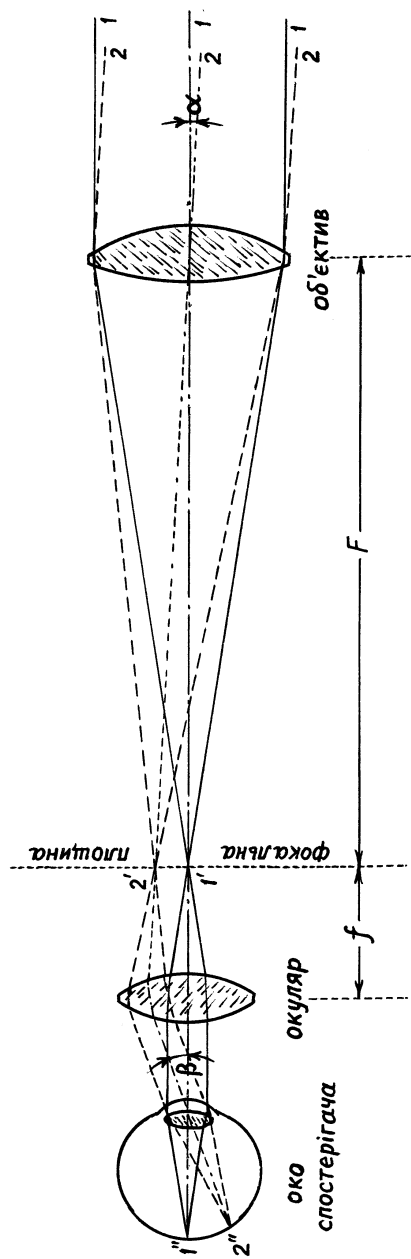


Рис. 1.28. Схема ходу променів у рефракторі

(рис. 1.30), а також рефлектори «Алькор» і «Міцар» Зараз у продажу є багато аматорських телескопів різних систем (рис. 1.31, 1.32). Телескоп установлюють на *паралактичному штативі*, що дає змогу після наведення труби на світило компенсувати добове обертання небесної сфери за допомогою повороту інструмента лише навколо однієї осі, паралельної до осі світу.

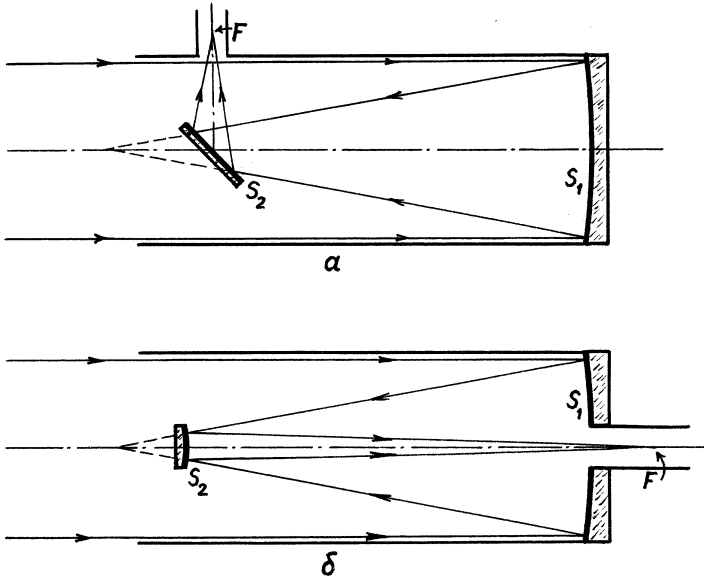


Рис. 1.29. Схема ходу променів у рефлекторах Ньютона (а) і Кассегрена (б)

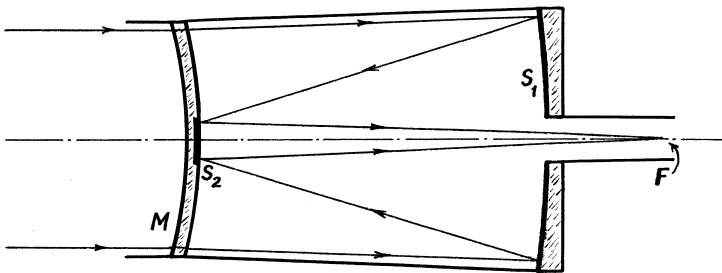


Рис. 1.30. Хід променів у менісковій системі Максудова



Рис. 1.31. Сучасний аматорський рефрактор

У більшості сучасних великих («професійних») телескопів використовують систему Кассегрена (рис. 1.29, б) або її модифікацію — Річі–Кретьєна. Перша є комбінацією головного параболічного з допоміжним гіперболічним дзеркалом (перше — вгнуте, друге — опукле), у другій — обидва дзеркала гіперболічні. Телескопи системи Річі–Кретьєна мають перевагу перед касегренівськими, оскільки при заданому діаметрі дзеркала мають значно меншу довжину труби.

Ми ж, обираючи собі інструмент, перш за все перевіряємо якість зображення, наводячи телескоп на віддалені предмети. Не менш важливою є простота і надійність монтування деталей та допоміжних пристроїв. Телескоп повинен жорстко закріплюватися після наведення на об'єкт, а механізм ведення — забезпечити плавний рух. Найякісніше зображення буде спотворене, якщо телескоп тремтить від найменшого торкання. Тринога має бути масивною та зручною.



Рис. 1.32. Сучасний аматорський рефлексор

Слід пам'ятати, що, спостерігаючи Сонце, категорично заборонено дивитися на нього через окуляр! Навіть темний фільтр небезпечний, бо може від нагріву луснути просто перед оком спостерігача, або розплавитись чи загорітись, якщо взято якийсь пластик. Краще за все «піймати» збільшене зображення Сонця білим екраном на деякій відстані позаду окуляра і, міняючи фокусування окуляра, досягти різкості (див. далі рис. 3.12).

Деякі слова про найважливіші характеристики телескопів. Співвідношення *діаметра вхідного отвору D* (діаметр об'єктива чи дзер-

кала) до *фокусної відстані* F об'єктива називають *відносним отвором* A . Співвідношення $\Gamma = F/f$ називається *кутовим збільшенням*, де f — фокусна відстань окуляра. Збільшення вказують числом з навскісним хрестом у вигляді степеня, наприклад, 70^\times ; 250^\times . Треба мати на увазі, що інколи виробники вказують не збільшення кута, під яким видно предмет, а збільшення площі. Якщо побачите невеличкий телескоп із вказаним збільшенням у 625 разів, не вірте, він збільшує у 25 разів.

Здатність телескопа розділяти дві світлі точки називається *роздільною*. Зокрема, ми бачимо окремо компоненти подвійної зорі, якщо кутова відстань між ними більша від $a'' = 14/D$, де D виміряний у сантиметрах. Для ока $a'' \approx 1'$, якщо $D = 0,5 \text{ м} - 0,23''$.

Гранична величина зорі m_r , яку ще видно в телескоп у зеніті, характеризує його *проникну силу*. Якщо діаметр вхідного отвору D , то

$$m_r \approx 7,0^m + 5 \lg D,$$

причому D виміряний у сантиметрах. Для телескопа з $D = 10$ см маємо $m_r \approx 12^m$, якщо $D = 600$ см, то $m_r \approx 22^m$.

Для фотографічних спостережень важливою характеристикою є масштаб зображення. Не наводячи тут загальних формул, зазначимо, що *при фокусній відстані об'єктива 1 м кожному градусові неба у фокальній площині відповідає зображення розміром 18 мм*. Об'єкт з поперечником 3° дає зображення розміром 54 мм і т. д. Якщо $F = 2$ м, то зображення відповідно удвічі більше. Зі старими фотографічними об'єктивами («Индустар-22, -61», «Юпитер-3», у котрих $D = 52$ мм) отримуємо зображення Місяця діаметром 0,47 мм, з об'єктивом «Юпитер-21» ($D = 200$ мм) — 2,71 мм. Сучасні цифрові камери дозволяють змінювати фокусну відстань, а, отже, і масштаб зображення — так званий *оптичний зум*. Є ще *цифровий зум*, коли, при одному розмірі у фокальній площині, зображення збільшується на екрані програмними засобами.

Для ототожнення зір під час їх вивчення зручно користуватися «покажчиком зір». Це — чотиристороння, у формі паралелограма рама, виготовлена з легких дерев'яних планок, кінці яких попарно скріплені шарнірами. У цьому нехитрому приладі протилежні сторони завжди взаємно паралельні і, отже, забезпечують можливість вказувати учневі напрям на певне світило за принципом «дивись уздовж своєї планки і побачиш те, що бачу я».

2. ЗОРЯНЕ НЕБО. СУЗІР'Я

Мешканці сучасних великих міст, незважаючи на всі досягнення цивілізації, в одному обділені: вони майже не звертають уваги на зоряне небо. Навіть якщо не заважає яскраве освітлення — телевизор, комп'ютер та інші розваги займають весь вільний час. У минулому (не такому вже далекому) вечірніх розваг було менше, і мимоволі люди більше дивилися на небо, як і багато століть тому. На зоряне небо було приємно дивитись, воно було таким далеким від земних турбот. У давні часи ніхто не уявляв, наскільки небесні світила і в прямому смислі далекі від нас. Це зараз ми знаємо, що саме величезні масштаби зоряного Всесвіту спричиняють збереження взаємного розташування зір.

Пильно вдивляючись у зоряне небо, люди поступово почали розрізняти на ньому окремі групи яскравих зір — *сузір'я*. Вони навчилися зіставляти періодичну зміну природних явищ — прихід весни, час жнив, настання осінньої холоднечі тощо — зі зміною вигляду зоряного неба, з видимим (про це вони здогадалися не зразу) рухом Сонця на небі.

Наприклад, єгипетські жерці за 4000 років до н. е. виявили, що безпосередньо (за чотири доби) перед розливом ріки Ніл (а в околиці теперішнього Каїра вода підіймалася на 8 м!) на ранковому небі після 70-денного періоду невидимості вперше сходить зоря Сіріус (її вони звали Сотіс, або Сопт). На одному з храмів дотепер зберігся напис: «Сотіс велична сяє на небі, і Ніл виходить з берегів своїх» (рис. 2.1).

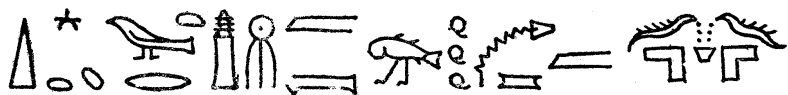


Рис. 2.1. Ієрогліфічний напис на стіні храму в Дендерах: «Сотіс велична блищить на небі і Ніл виходить з берегів своїх»

Назви сузір'їв. У назвах, що їх давні люди давали сузір'ям, вони відображали свій побут і спосіб мислення. Так робили, зокрема, єгипетські, шумерські (згодом вавилонські), китайські астрономи. Однак більшість назв сузір'їв, що ними користуємося сьогодні, дійшли до нас із Давньої Греції, де формувалися протягом багатьох століть.

У поемі «Роботи і дні» давньогрецького поета Гесіода (VIII ст. до н. е.) згадано лише дві групи зір — Плеяди й Оріон та зорі — Арктур і Сіріус. Відомий поет Гомер (VIII ст. до н. е.) додав до них ще Гіади, Боотеса (тобто Волопаса) і Ведмедицю (або Воза). Давньогрецький учений *Евдокс* (IV ст. до н. е.), як це знаємо з віршованої поеми Арата «Феномени» (III ст. до н. е.), виділяв на зоряному небі вже 45 сузір'їв. У творі «Альмагест» *Клавдія Птолемея* (II ст. н. е.) йдеться вже про 48 сузір'їв. Це — Велика Ведмедиця, Мала Ведмедиця, Дракон, Кефей, Боотес, Північний Вінок, Людина на колінах (тобто Геркулес), Ліра (або Падаючий Яструб), Птах (або Лебідь), Кассіопея, Персей, Візничий, Офіух (Змієносець), Змія, Стріла, Орел, Дельфін, Малий Кінь, Крилатий Кінь (Пегас), Андромеда, Північний Трикутник, Телець, Овен, Риби, Водолій, Козоріг, Стрілець, Скорпіон, Терези, Діва, Лев, Близнята, Рак, Кит, Оріон, Ріка Ердан, Заєць, Великий Пес, Малий Пес, Корабель Арго, Гідра, Чаша, Ворон, Вівтар, Кентавр, Звір (Вовк), Південний Вінок і Південна Риба. Назви цих сузір'їв не змінювалися майже півтори тисячі років.

Після кругосвітньої подорожі Магеллана (1519–1521) астрономи, вивчаючи небо південної півкулі, почали доповнювати список сузір'їв новими назвами. До того ж невдовзі винайшли телескоп. Оглядаючи небо в телескоп, астрономи ставали ніби першовідкривачами великої кількості зір і дуже часто намагалися виділити їх на картах зоряного неба в окремі сузір'я. Наприклад, завдяки зятеві Й. Кеплера Барчіусові у 1624 р. на картах неба з'явилися сузір'я Жираф, Одноріг, Муха і Голуб. Видатний польський астроном *Ян Гевелій* (1611–1687) виділив сузір'я Гончі Пси, Ящірка, Малий Лев, Секстант, Лисичка, Рись і Щит (точніше, Щит Собеського, на честь короля-воїна Яна Собеського). На той час поняття «сузір'я» перестало означати певну групу зір. Вже було ясно, що *зорі є скрізь*, і треба було заповнити проміжки між «старими» сузір'ями. Відтоді астрономи під сузір'ям розуміють свого роду «гранчастий» конус у просторі, що від спостерігача розходить у безкінечність. Все, що потрапляє у цей конус, — метеор, планета, галактика — належить даному сузір'ю, як наприклад, Туманність Андромеди.

Були також спроби перейменувати деякі сузір'я, назвавши їх іменами християнських святих або історичних осіб (наприклад, Наполеона). Однак вони не увінчалися успіхом.

У цілому на початку XX ст. налічувалося 108 сузір'їв і дев'ять окремих груп зір типу Плеяд та Палиці Геркулеса. На конгресі Міжнарод-

ної Астрономічної спілки в 1922 р. кількість сузір'їв зменшено до 88. Згодом було визначено нові межі між ними, які є досі. Список сузір'їв наведено в табл. 1-В Додатка.

Мабуть, всі народи якимось називали характерні групи зір. Деякі сузір'я назвали і наші предки, відобразивши в них свою працьовитість та миролюбність. Це Великий Віз (Велика Ведмедиця), Малий Віз (Мала Ведмедиця), а ще Пасіка, Борона (Кассіопея), Криниця (Дельфін), Косарі (Пояс Оріона), Дівчина з відрами (Орел), Чепіги (зоряне скупчення Гіади, що утворюють голову Тельця), Квочка або Волосожар (зоряне скупчення Плеяди).

Віддавна склалася традиція замальовувати на ділянці неба, названій деяким ім'ям, фігуру її епоніма (від гр. επωνυμος — той, що дає ім'я, назву), тобто істоту, як вони (астрономи) уявляли її собі у візерунку тієї чи іншої групи зір. Відповідно їй називали зорю залежно від її положення на цьому малюнку (серце Скорпіона, та, що на кінці носа Великої Ведмедиці, та, що на лівому плечі Кассіопеї тощо). Деякі атласи є високохудожніми творами, особливо це стосується атласу Гевелія «Уранографія» (1690), який складається з 54 карт (для кожного сузір'я, і двох півсфер для цілого неба, див. рис. 2.2–2.4). Частину карт він гравірував власноручно, а видання здійснила вже після його смерті його вдова Ельжбета, котра, до речі, приймала участь і в спостереженнях.

Зазначимо, що під час складання атласів астрономи користувалися одним із двох варіантів: зображали небо так, як його ми бачимо з Землі, або ж так, як воно виглядає на поверхні небесного глобуса, «ззовні неба». У першому випадку зображення сузір'їв буде прямим, у другому — дзеркальним (рис. 2.5–2.6).

Близько 250 найяскравіших зір неба мають власні назви, що дали їм переважно арабські астрономи. З них 102 наведено у табл. 4-В Додатка.

Позначення зір. Каталоги. Італійський астроном (і архієпископ) *Алессандро Пікколоміні* (1508–1578) у своєму атласі зоряного неба «Про нерухомі зорі» (1540, книгу перевидавали не менше 14 разів італійською мовою, а також переклали латинською і французькою) позначив зорі в кожному сузір'ї грецькими і латинськими літерами приблизно в порядку зменшення їхнього блиску. Цю традицію закріпив німецький астроном *Йоганн Байєр* (1572–1625), який у своєму атласі «Уранометрія» (1603 р.) позначив зорі грецькими літерами, саме так, як вони позначаються й дотепер (наприклад, α Ліри).

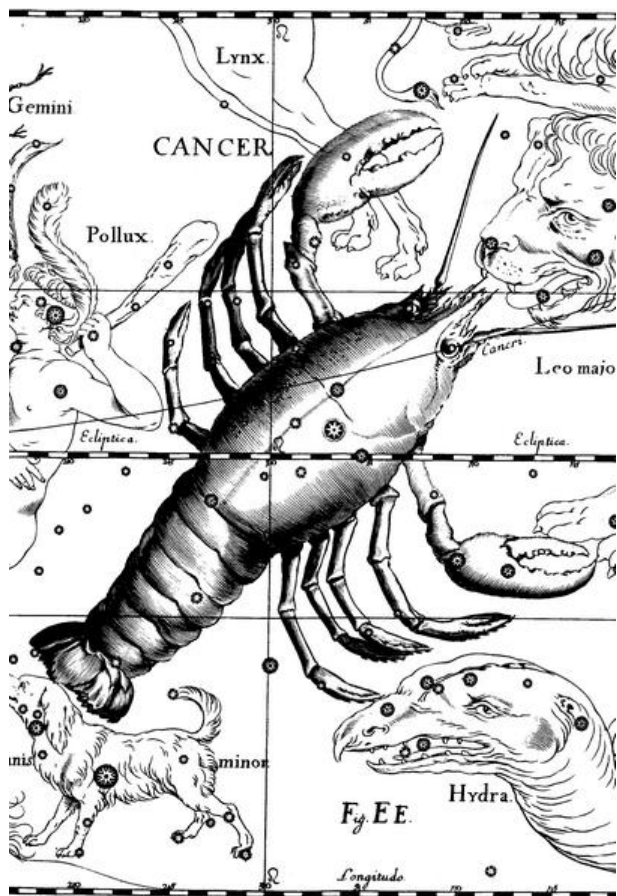


Рис. 2.2. Зображення фігури Рака, що уособлює назву відповідного зодіакального сузір'я в атласі Яна Гевелія

Це найбільш популярний спосіб ідентифікації яскравих зір. Як курйоз відмітимо, що дві зорі належать одночасно до суміжних сузір'їв — це α Андромеди (вона ж δ Пегаса) і β Тельця (вона ж γ Візничого). Пізніше англійський астроном *Джон Флемстід* (1646–1719) у межах кожного сузір'я позначив зорі порядковими номерами, що також частково використовують сьогодні (наприклад, зоря $\beta 1$ Лебеда). Так тисячі зір наче отримали свої паспорти, і вже легко визначити, про яку зорю йде мова.

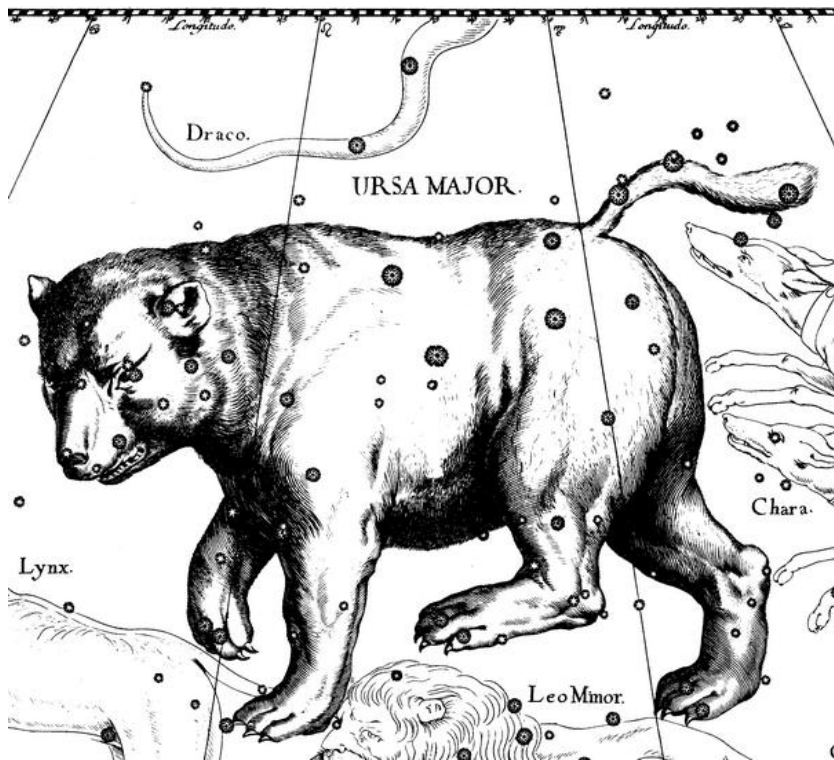


Рис. 2.3. Фігура Великої Ведмедиці з атласу Яна Гевелія

У так званому «Боннському огляді неба» (*Bonner Durchmusterung* — *BD*, 1863 р.) наведено координати і зоряні величини 324 188 зір від Північного полюса світу до -23° за схиленням. Список зір зроблено за їхнім положенням на небесній сфері смугами шириною 1° . При деякому схиленні світила (у градусах), яке проставлено на початку позначення зорі, кожне збільшення числа номера на одиницю відповідає більшому значенню прямого піднесення зорі. Для південних зір було складено аналогічні каталоги (Кордобський і Капський фотографічний).

Найвідомішим для спеціалістів є дев'ятитомний «Каталог Генрі Дрепера» (*HD*), що містить інформацію про зоряні величини і спектри 225 300 зір (опублікований у 1918–1924 рр.). Зазначимо, що *Генрі Дрепер* (1837–1882) уперше сфотографував спектр зорі (нею була Вега).

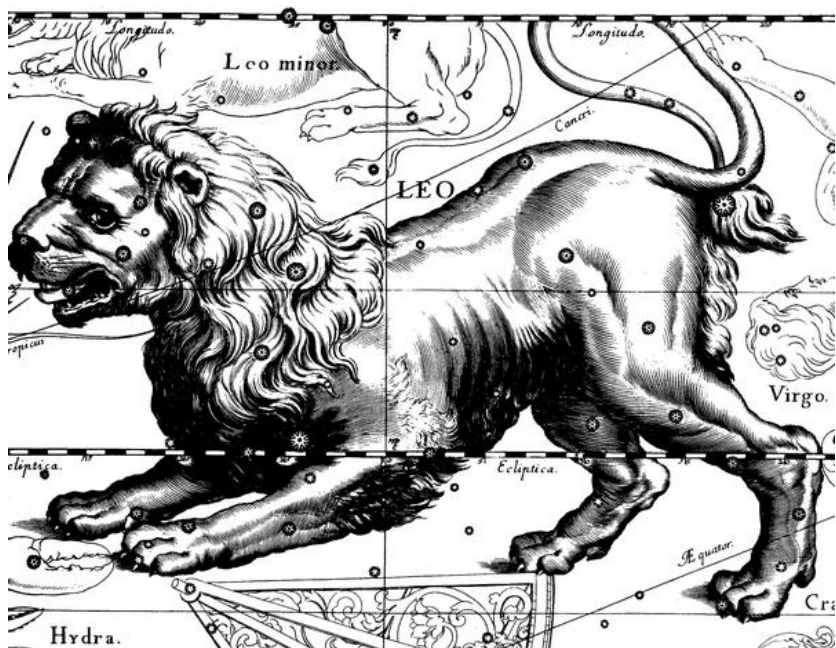


Рис. 2.4. Фігура Лева з атласу Яна Гевелія

Наприклад, зоря HD 48915 = BD -16°1591 = 9 CMa = α CMa = α Великого Пса = Сіріус.

Для зір, блиск яких з часом змінюється (*змінних зір*), прийнято позначення великими літерами латинського алфавіту: R, S, ..., Z, RR, RS, ..., RZ, SS, ST, ..., SZ, ..., ZZ, AA, AB, ..., BB, BC, ... QZ. Усього таким чином у кожному сузір'ї можна позначити 334 зорі. Наступні, у міру їх виявлення, змінні зорі позначають (у кожному сузір'ї зокрема) звичайно порядковим номером, перед яким ставлять велику латинську літеру V (від лат. *variabilis* — змінний), наприклад, V 335 Лебедя. Цю систему започаткували, коли було відомо дуже мало змінних зір і, здавалося, літер вистачить.

Астрономи вже віддавна працюють над своєрідною «інвентаризацією» об'єктів неба, складаючи каталоги (списки) окремих типів зір, туманностей і галактик. Так, дані про змінні зорі містяться в ОКПЗ (Общем каталогі переменних звезд). Одним з найвідоміших є каталог французького астронома *Шарля Мессьє* (1730–1817), в якому

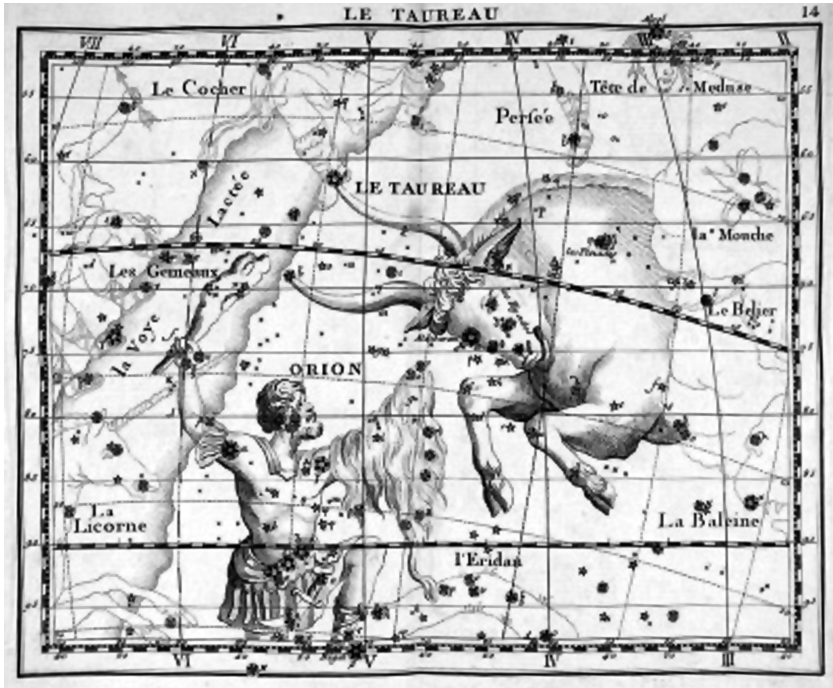


Рис. 2.5. Фігури сузір'їв Тельця й Оріона із зоряного атласу Флемстіда (зображення пряме, як бачимо сузір'я на небі)

налічується 109 об'єктів — яскравих зоряних скупчень, туманностей і галактик. Зокрема, галактика з сузір'я Андромеди є у ньому за номером 31, тому її позначають як об'єкт М 31 (читається «Мессьє 31»).

Трапляються і такі назви: «зоря Вольф 359», «зоря Росс 154», а також «галактика Маркаряна номер такий-то» або «галактика Сейферта», у цьому випадку зазначено номер за порядком об'єкта, який він має у списку (каталозі), що його склав учений — німець *Макс Вольф* (1863–1932), американець *Френк Росс* (1874–1960), вірменин *Б. Є. Маркарян* (1913–1985) чи американець *Карл Сейферт* (1911–1960).

Часто використовують нумерацію за «Новим генеральним каталогом туманностей і зоряних скупчень» (*New General Catalogue*, скорочене позначення NGC), що його склав у 1888 р. англійський астроном *Йохан Дрейєр* (1852–1926). У ньому названа галактика М 31 має номер 224 (об'єкт NGC 224). Цей каталог виходив з доповненнями (*Index*



Рис. 2.6. Фігури сузір'їв Тельця й Оріона (частково) із зоряного атласу Яна Гевелія (зображення дзеркальне)

Catalogue) IC I (1895 р.) та IC II (1908 р.), усього в ньому налічується понад 13 000 об'єктів.

Складено каталоги й недавно виявлених об'єктів — квазарів і пульсарів. Зокрема, досить широко застосовують нумерацію квазарів за Третім Кембриджським каталогом (позначення 3С), а також Четвертим (4С) і П'ятим (5С).

Наприкінці ХХ століття багато існуючих каталогів було переведено в електронний формат та розпочалося створення нових, чисто

електронних каталогів. Зараз, маючи комп'ютер, підключений до Інтернету, при мінімальному володінні англійською мовою, достатньо набрати адресу того чи іншого каталогу. Тут поки що наведемо дві адреси.

simbad.u-strasbg.fr — це велика астрономічна база даних SIMBAD (Set of Identifications, Measurements and Bibliography of Astronomical Data — «Зібрання ідентифікацій, вимірювань та бібліографії астрономічних даних»). Станом на весну 2012 року SIMBAD містить дані про майже 7 мільйонів об'єктів!

www.sai.msu.ru/gcvs/gcvs/ — це згаданий вище ОКПЗ (GCVS — General Catalogue of Variable Stars).

Далі, в міру потреби, ми будемо ще давати web-адреси.

Про вимову назв. У табл. 1-В назви сузір'їв наведено українською та латинською мовами. Знати другу назву потрібно, зокрема, для з'ясування положень радіантів метеорних потоків (див. нижче), читання наукової літератури тощо. В латинській мові диграф «ae» читають як «e»; «oe» — як англійське [ə:]; приголосну *c* в античну епоху читали завжди як «к», у середньовічній латині (міжнародній науковій мові) *c* залишилося як «к» перед *a*, *o*, *u*, *au* та приголосними наприкінці слова, але стало вимовлятися як «ц» перед *e*, *i*, *y*, *ae*, *oe* (наприклад, *caelum*, «целюм» — небо). Звука «ц» не було і у давньогрецькій мові. Тому останнім часом з'явилася тенденція повернутися до «античного звучання». Наприклад, пишуть: Кентавр замість Центавр, Кефей замість Цефей, Прокіон замість Проціон тощо.

Арабські назви зір дійшли до нас з німецької літератури. Наприклад, для нас звичні назви зір Міцар, Мегрец, Альферац тощо. Тим часом в усіх англомовних народів ті ж назви читають Мізар, Мегрез, Альфераз, що ближче до їхнього первісного арабського звучання.

2.1. З'ЯСУВАННЯ ЗМІНИ ВИДИМОСТІ СУЗІР'ІВ УПРОДОВЖ РОКУ

Уміння розпізнавати на небі деякі групи зір (сузір'я) та окремі зорі називають *астрогнозією* (від гр. *αστρον* — зоря, *γνῶσις* — знання), що й дослівно означає «знання зоряного неба». Воно стосується передовсім того, як змінюється вигляд, скажімо, вечірнього зоряного неба упродовж року. Ця зміна зумовлена річним рухом Сонця по екліптиці.

Отже, з'ясуємо умови видимості сузір'їв на конкретну годину вечора, наприклад, на 21 год. місцевого часу ($T_{\lambda} = 21^h$). Вибравши місце на майданчику (важливо завжди дивитися з однієї точки), зафіксуємо положення якоїсь зорі щодо стовбура дерева чи рогу будинку. Наступного вечора виявляємо, що вибрана зоря зайняла те ж положення на 4 хвилини раніше, ще через день — на 8 хвилин і т. д. Через 15 днів зоря займе те ж положення на небосхилі (заховається за стовбур дерева) вже на цілу годину раніше. А о 21 годині місцевого часу вона зміститься значно далі до заходу.

Узагальнюючи ці спостереження, скажемо, що вся небесна сфера повернулася за цей час на додаткових 15° .

Однак о деякій годині доби Сонце перебуває на цілком визначеній відстані від небесного меридіана (о 12 годині ночі воно є у нижній кульмінації). Звідси випливає, що начебто вся небесна сфера повільно просувається назустріч Сонцю: приблизно на 4 хвилини за добу, що за рік складає 24 години, або повний оберт.

Насправді, як бачимо з рис. 2.7, видиме обертання небесної сфери виникає завдяки рухові Землі навколо Сонця. При цьому Сонце, котре ми спостерігаємо із Землі, проектується на щораз іншу точку екліптики. Як знаємо, протягом року Сонце описує повне коло через *зодіакальні сузір'я* (від гр. ζῳον — тварина, оскільки більшість цих сузір'їв має назви тварин). Сонце серед зір рухається проти годинникової стрілки, якщо спостерігати цей рух з північної півкулі (і зміщується за добу на кут $360^{\circ} : 365,2422 = 0,9856^{\circ}/\text{добу}$). У кожен момент часу половина зодіакальних сузір'їв перебуває над горизонтом, друга — під ним. У вечірніх присмерках низько над горизонтом у західній частині неба видно те зодіакальне сузір'я, в якому Сонце буде наступного місяця.

Тривалість перебування Сонця в зодіакальних сузір'ях наведено в табл. 2-В Додатка. Як уже згадувалося, положення Сонця серед зір упродовж року вказують на обводі карти зоряного неба, зробленої у вигляді круга.

Отже, сузір'я, які видно на небі 1 вересня, скажімо, о 24 годині, займають таке ж положення над горизонтом 1 жовтня о 22 годині, 1 листопада о 20 годині, 1 грудня о 18 годині і т. д. Це й дає змогу передбачити положення зір на небосхилі на цілий рік наперед, як показано нижче (див. рис. 2.12–2.15). Коротко опишемо ці рисунки, перелічуючи головніші сузір'я, як їх видно в ту чи іншу пору року.

Навколополярні сузір'я (рис. 2.8). Порівнюючи між собою чотири рисунки положень зір на північному небосхилі, а також поступово

вивчаючи цю ділянку неба протягом року, переконуємося в тому, що кілька сузір'їв, розташованих поблизу Північного полюса світу, перебувають над горизонтом цілу добу, їхнє схилення $\delta > +(90^\circ - \varphi)$. Це сузір'я Великої Ведмедиці, Малої Ведмедиці, Дракона, Цефея (Кефея), Кассіопеї, Персея, Андромеди, Жирафа і Риси. Правда, південну частину Великої Ведмедиці і Персея, а також Андромеду добре видно не весь рік.

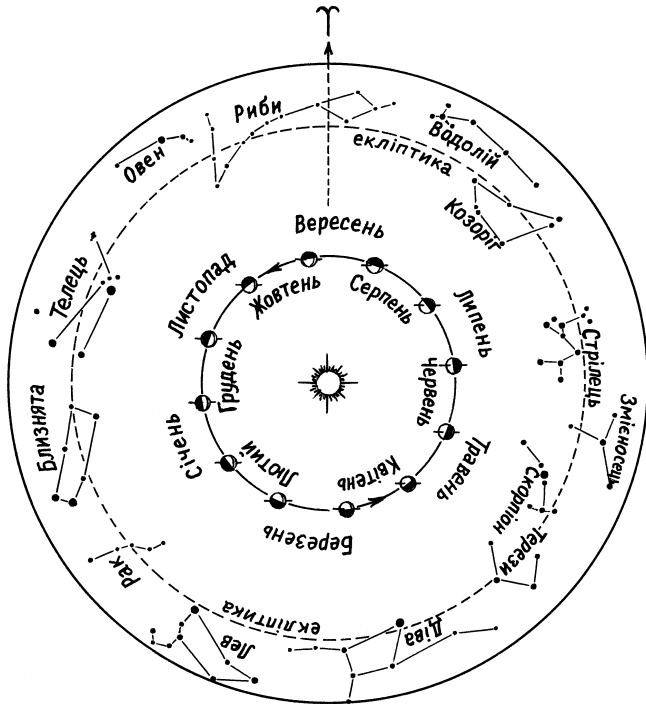


Рис. 2.7. Видиме переміщення Сонця по зодіакальних сузір'ях унаслідок руху Землі навколо нього

Вивчення зоряного неба звичайно розпочинають з пошуку *Великої Ведмедиці*. Це сузір'я настільки відоме і важливе в навчальному процесі, що треба детальніше вивчити його зображення в сучасному атласі (рис. 2.9) і порівняти його з малюнком з давнього атласу (рис. 2.10). Нагадаємо, що з 1922 р. межі сузір'їв проведено уздовж кіл схилень та добових паралелей.

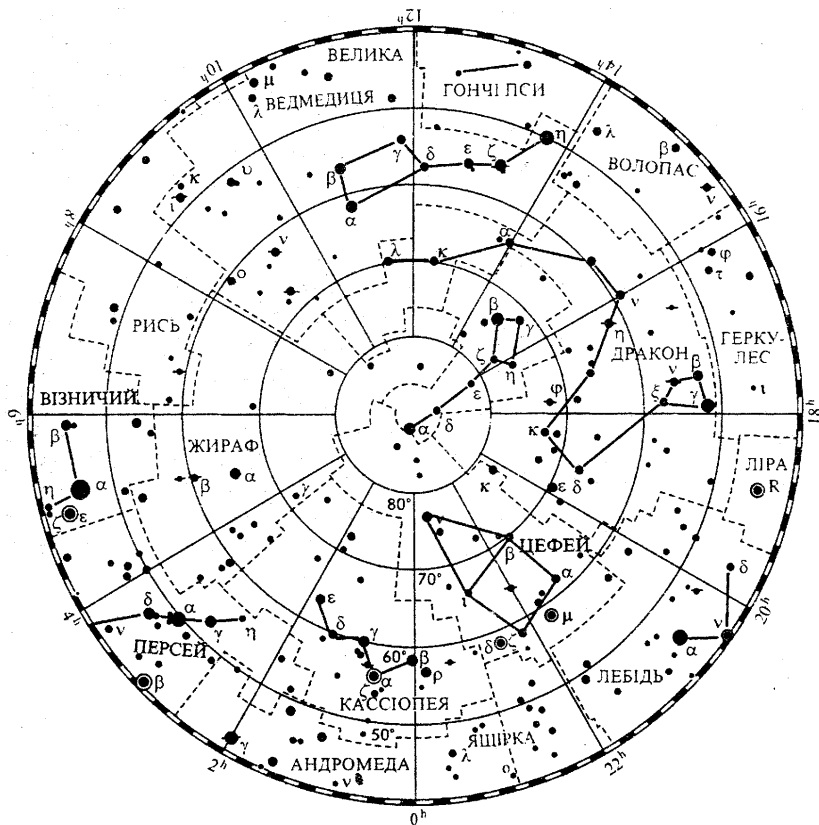


Рис. 2.8. Навколополярні сузір'я

У табл. 4-В Додатка наведено сім яскравих зір Великої Ведмедиці. Бажано знати видимі зоряні величини (див. рис. 1.26) і назви їх усіх: α — Дубхе ($1,8^m$), β — Мерак ($2,4^m$), γ — Фекда ($2,4^m$), δ — Мегрез ($3,3^m$), ϵ — Аліот ($1,8^m$), ζ — Мізар ($2,3^m$) і η — Бенетнаш ($1,9^m$). Усі ці назви арабські. Зокрема, Дубхе походить від слова «дубб» — ведмідь; Фекда — від «фахз» — стегно; Мегрез — від «маграз» — початок хвоста; Аліот, можливо, — від «ал-джун», що означає вороний кінь; Мізар — від «мізар» — середина тіла. Поблизу цієї зорі є зоря Алькор ($4,0^m$), походження назви якої невідоме. Твердження нібито Алькор та Мізар означають «кінь» і «вершник», на жаль, нічим не підтвержене.

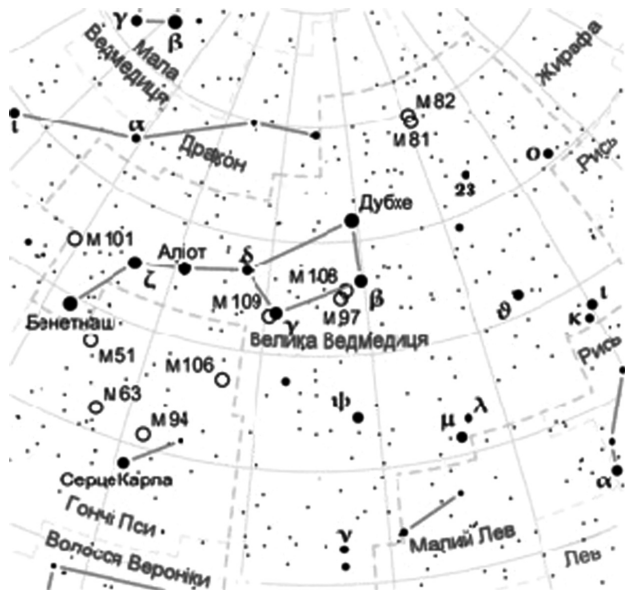


Рис. 2.9. Сузір'я Великої Ведмедиці на карті сучасного атласу

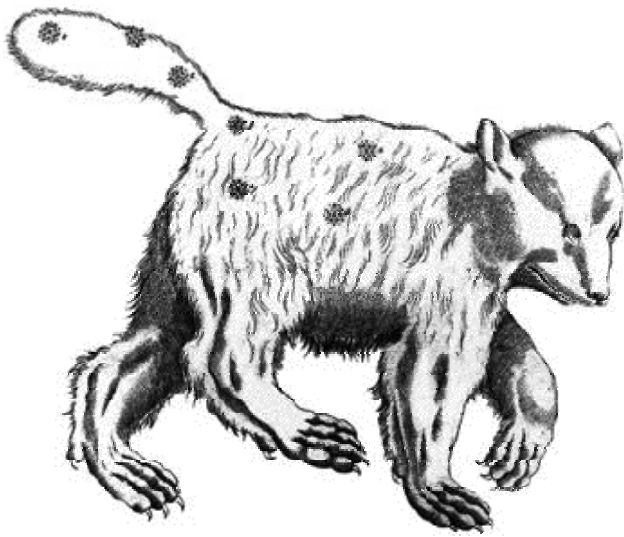


Рис. 2.10. Зображення Великої Ведмедиці у давньому атласі

І, нарешті, зорю Бенетнаш називають ще Алькаїд, від «ал-каїд банат наш» — провідир Дочок похоронних мар, бо давні араби вважали сім яскравих зір Ковша Великої Ведмедиці зображенням похоронної процесії з похоронними марами і трьома плакальницями позаду них.

Як виявилось, зі згаданих семи зір найближчими до нас є зорі Мерак і Мізар: світловий промінь від них надходить до Землі за 78 років, найдальше — Дубхе, відстань до неї становить 124 світлові роки.

Нагадаємо, що слово «ведмедиця» по-грецьки *αρκτος*. Звідси й походить назва «Арктика» — зона Північного географічного полюса й «Антарктида» (навпроти ведмедиці) — зона Південного полюса.

Напряма на Полярну зорю ми вже визначили (див. рис. 1.4). Нагадаємо, що назва зорі α *Малої Ведмедиці* ($2,0^m$) — *Полярна* — походить, очевидно, від гр. *πολεω* — я обертаюсь. Зоря β називається Кохаб ($2,1^m$), від араб. «каукаб» — світило.

Між Великою і Малою Ведмедицею простягнувся ланцюжок зір *Дракона*. На півдорозі між зорями Кохаб і Мізар є α Дракона ($3,7^m$) — Тубан. Однак найяскравіша в цьому сузір'ї зоря γ ($2,2^m$) — Етамін (обидві назви означають одне й те ж — дракон).

Заслугує на увагу зоря α Дракона. Це біля неї 4500 років тому був Північний полюс світу. А спостерігаючи положення зорі γ Дракона, англійський астроном Джеймс Бредлей у 1725 р. відкрив один із «тонких ефектів» — *аберацію світла* (щоправда, це зробив його земляк Роберт Гук років 20 раніше, але не зумів його правильно пояснити). Аберация світла полягає в тому, що завдяки рухові Землі навколо Сонця ми вимушені трохи нахилити телескоп, як нахилиємо парасольку, коли швидко йдемо під дощем.

На продовженні шляху від «задніх коліс Великого Воза» до Полярної зорі, на протилежному боці від неї, є сузір'я *Цефея*. П'ять його найяскравіших зір утворюють наче хатку (вулик) з гостроверхим дашком, який «тягнеться» до Полярної. Найяскравіша зоря α Цефея ($2,4^m$) — Альдерамін (від араб. «аз-зіра ал-йамін» — права рука), β ($3,2^m$) — Альфірк. Поблизу лівого нижнього рогу «хатки» є зоря δ , що стала типовим представником близько 1000 пульсуючих змінних зір — цефеїд (див. нижче).

Поруч з Цефеєм розташоване сузір'я *Кассіопеї*. Його п'ять найяскравіших зір утворюють літеру *W* латинської абетки. Зоря α ($2,2^m$) називається Шедір (від араб. «садр» — груди), β ($2,3^m$) — Каф (від араб. «каф» — рука), δ ($2,7^m$) — Рукба (коліно). Річ у тому, що частину зір Кассіопеї арабські астрономи називали «руками Плеяд».

Прямуючи від Полярної зорі через сузір'я Кассіопеї, бачимо довгу «гірлянду», утворену зорями *Пегаса*, *Андромеди* і *Персея*. Зорю α Андромеди ($2,1^m$) називають Альфераз (від араб. — «аль-фарас» — кінь, інша назва — Сіррах), β ($2,1^m$) — Міррах (від араб. «марак» — черево) і γ ($2,3^m$) — Аламак. Першу з них, як вже згадувалося, позначали ще як δ Пегаса.

Ліворуч від Андромеди і нижче Кассіопеї у вигляді перевернутої літери У розташоване сузір'я *Персея*. Зоря α Персея ($1,8^m$) є на продовженні дуги, що йде від α до δ Кассіопеї, і називається Мірфак (тобто малося на увазі «лікоть» Плеяд). Друга за блиском зоря β Персея — Алголь (від араб. «шайтан», «чорт»). Це — затемнювано-змінна зоря (її блиск протягом 2 діб 20 год. 49 хв. змінюється від $2,2^m$ до $3,4^m$). Про її змінність, мабуть, знали вже арабські астрономи (тому й так її називали). Однак згодом це забулося. Заново у 1782 р. змінність Алголя виявив (і пояснив затемненнями) англійський астроном (точніше, аматор астрономії, який у дитинстві захворів на скарлатину і внаслідок цього оглух) *Джон Гудрайк* (1764–1786). Він дещо пізніше, у 1784 р., виявив змінність зорі δ Цефея. Заслуги Дж. Гудрайка у вивченні змінних зір були такими значними, що його обрали членом Лондонського королівського товариства (це фактично — Академія наук) і присудили золоту медаль цього товариства!

І, нарешті, рухаючись від зорі β Андромеди в напрямі до β Кассіопеї (рис. 2.11), на відстані близько чотирьох градусів є зоря μ , далі дещо зліва — зоря ν Андромеди, а справа і дещо вище на згаданому напрямі — «невеличка небесна хмарка» (так її назвав у X ст. арабський астроном Аль-Суфі). Згодом, у 1612 р., сучасник Галілея німецький астроном *Симон Марій* (1570–1624), роздивляючись її в телескоп, зауважив: «Її яскравість зростає в міру наближення до середини. Вона подібна до запаленої свічки, якщо на неї дивитися через прозору рогову пластинку». Це об'єкт, що його тривалий час (та й тепер) називали Туманність Андромеди, насправді — далека зоряна система. Її зоряна величина $4,3^m$. У 1924 р. американський астроном *Едвін Хаббл* (1889–1953) довів, що це інша галактика. До речі, Туманність Андромеди — найвіддаленіший предмет, який людина може побачити неозброєним оком.

Сузір'я осіннього неба (рис. 2.12). Звичайно, якщо оглядати небо з вечора до ранку (особливо взимку), то на ньому вже протягом однієї ночі можна побачити майже всі сузір'я, доступні для спостережень на нашій географічній широті. Однак можемо розглядати окремо сузір'я

осіннього, зимового, весняного і літнього неба. Це означає, що в кожному випадку мова йтиме про ті з них, які близько 22 год. вечора видно головним чином у південній частині неба.

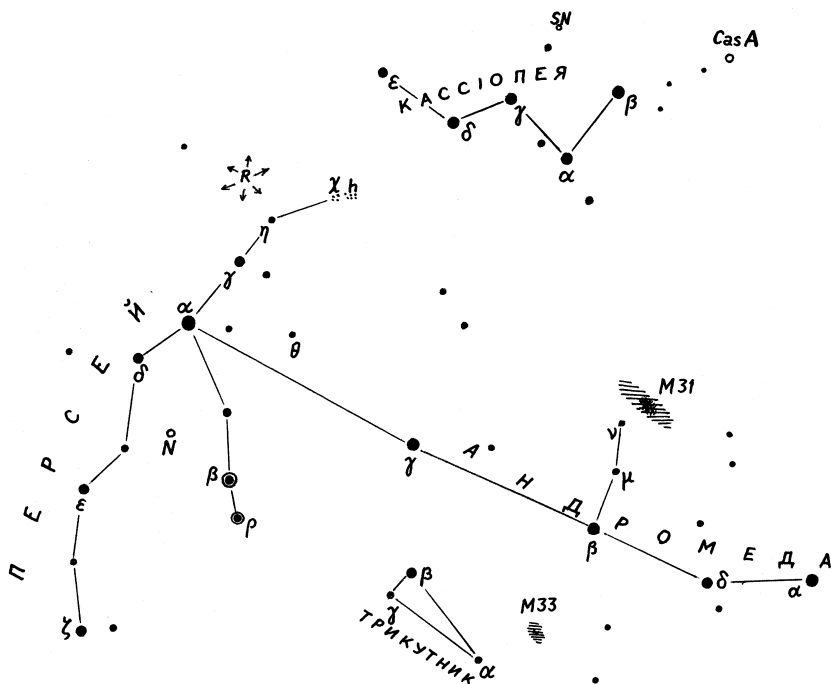


Рис. 2.11. Положення найцікавіших об'єктів у сузір'ях Персея, Андромеди і Трикутника

Окрасою осіннього вечірнього неба є сузір'я *Лебідь*, яке у вигляді велетенського хреста простягнулося високо на небосхилі й відділене від Андромеди *Ящіркою*. Зоря α Лебеда (1,3^m) називається Денеб (від араб. «ад-данаб» — хвіст). На протилежному кінці цього ланцюжка зір є зоря β (3,1^m) — Альбірео (курячий дзьоб), зорю γ (2,2^m) називають Садор, δ (2,9^m) — Джанах (крило). На давніх картах Лебідь зображали так, ніби він летить на південь.

Справа від Лебеда розташоване сузір'я *Ліри*, що його арабські астрономи називали «падаючий орел». Звідси й назва найяскравішої зорі α Ліри (0,0^m) — Вега, тобто «та, що падає» («ал-вакі»).

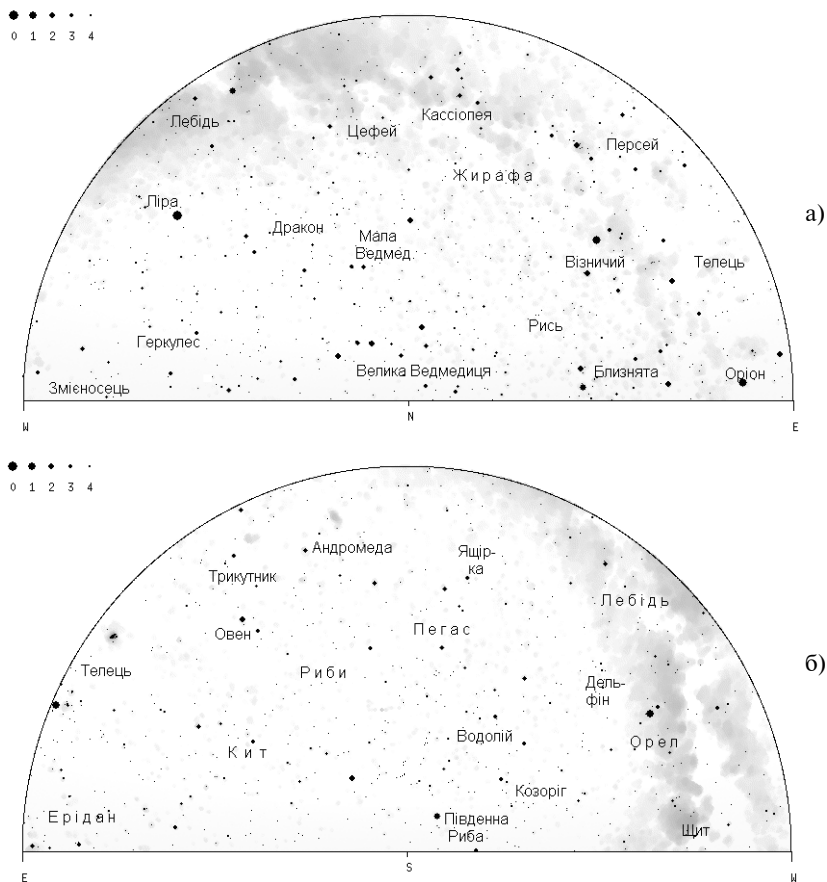


Рис. 2.12. Положення зір на північному (а) і південному (б) небосхилах (за місцевим часом): 15 вересня о 24 год., 15 жовтня о 22 год., 15 листопада о 20 год.

Внизу, ближче до горизонту, видно сузір'я *Орла* з його найяскравішою ($0,8^m$) зорею Альтаїр (від араб. «аттаїр» — орел). Після заходу Сонця ще на досить світлому небі першою з'являється Вега, за нею Альтаїр і Денеб. Ці три зорі утворюють літній трикутник, тому що влітку їх видно всю ніч. Поруч з Орлом зліва — невеличке сузір'я *Дельфін*, що має вигляд ромба «з хвостиком». Над ними — сузір'я *Лисички* і *Стріли*, під Дельфіном — сузір'я *Малого Коня*, зоря α якого ($3,9^m$) називається Кітальфія.

У жовтні центральне місце на вечірньому небі займає сузір'я *Пегаса* з його великим Квадратом. Найяскравіша зоря, що є у лівому верхньому куті Квадрата, — α Андромеди (Альфераз або Сіррах). Цю ж зорю раніше позначали як δ Пегаса. Якщо вважати, що Квадрат Пегаса є ковшем, то головні зорі сузір'я Андромеди будуть його ручкою. Зауважимо, що для вечірнього осіннього неба характерна вже згадувана велика «гірлянда» зір другої величини, що поступово знижується з півдня на північний схід: β Пегаса — α Андромеди — β Андромеди — γ Андромеди — α Персея. Про Андромеду сказано вище, повертаємось до Пегаса. У правому верхньому куті Квадрата є зоря β Пегаса ($2,1+3,0^m$) — Шеат (від араб. «са'їд» — плече), у правому нижньому — зоря α ($2,5^m$) — Маркаб (спина коня), у лівому нижньому — зоря γ ($2,8^m$) — Альгеніб (від араб. «ал-джанах» — крило), зоря ε ($2,4^m$) Пегаса називається Еніф (ніс). До речі, деякі зорі мають по кілька (іноді — чотири-шість) назв, причому різні зорі, буває, називаються однаково!

Ближче до горизонту бачимо декілька зодіакальних сузір'їв. Нижче від Орла розташований *Козоріг* (його знак ζ). Для його зір α і β — відповідно Альджеді та Дабіх ($3,6^m$ і $3,1^m$) — арабські астрономи придумали назву «Щастя різника», а малопомітна зоря ν (зліва від α) уявляється їм «Вівцею, що йде на заріз».

Зліва від Орла, над і зліва від Козорога бачимо зодіакальне сузір'я *Водолія* (знак ♒), в якому є чимала кількість слабких зір, що й справді подібні до потоку води. Зорі α ($2,9^m$) і β ($2,9^m$) називаються Садалмелек (від араб. «са'д ал-мулк» — щастя держави) і Садалсууд. Уважали, нібито ці зорі віщують щастя.

Біля Квадрата Пегаса простягнулися два ланцюжки зодіакального сузір'я *Риби* (знак ♓). Той, що зліва від Квадрата — Північна Риба, під Квадратом до Водолія — Західна Риба. Тут на продовженні лінії від зорі Альфераз до зорі Альгеніб (лівий бік Квадрата Пегаса) і на такій же відстані від другої з них (трохи правіше) розташована точка весняного рівнодення Υ (див. рис. 5.2).

Наступне зодіакальне сузір'я — *Овен* (знак ♈). Його зорі α ($2,0^m$) і β ($2,6^m$) називаються Гамаль (від араб. «хамаль» — ягня) та Шератан (від араб. «шаратан» — два знаки).

На південному сході небосхилу під Овном і Рибами простягнулося одне з найбільших сузір'їв неба — *Кита*. Зоря α Кита ($2,6^m$) називається Менкар, β ($2,0^m$) — Діфда (жаба, або Денеб Кайтос — хвіст кита). Зоря σ — Міра (від лат. *mira* — дивна). Це — довгоперіодична змінна, блиск якої упродовж 332 діб змінюється від $2,0^m$ до $9,0^m$.

Нижче від Водоля і Козорога є сузір'я *Південна Риба*. Його найяскравіша зоря α ($1,2^m$) Фомальгаут (від араб. «фам-ал-хут» — рот риби).

Від сузір'їв Стрільця і Скорпіона (про них мова далі) вгору через сузір'я Орла і Лебеда, Кассіопеї, Персея та Візничого і аж у південну частину неба, наче шлях у незвідані далі, простяглася світла смуга *Молочного Шляху*. Наші предки так і називали її — Шляхом, іноді — Чумацьким Шляхом. Для давніх греків — це було γ αλακτίας — молочне коло (від гр. γάλα — молоко).

Від сузір'я Скорпіона і до Лебеда Молочний Шлях подвійний, причому правий (західний) рукав переривчастий. Це пов'язане з тим, що в цьому напрямі є багато «хмар», які складаються з газу й пилу. Поглинаючи світло від далеких зір, ці хмари закривають їх від нас, створюючи ілюзію темного провалля у світлій смузі Молочного Шляху.

Сузір'я зимового неба (рис. 2.13). На початку зими відразу після заходу Сонця на південному небі бачимо майже всі ті сузір'я, про які йшлося вище. Проте день за днем вигляд зоряного неба все ж помітно змінюється. А на вказану годину (10 год. вечора) картина зовсім інша.

Дивлячись майже в zenit, зліва від Персея (тобто на схід від нього) знаходимо *Візничого*. Його найяскравіша зоря α ($0,1^m$) — Капелла (від лат. *capella* — коза) є на продовженні того ланцюжка зір Персея, що загинається вліво. Зоря β Візничого ($1,9^m$) називається Менкалінан (від араб. «менкаб зі-л-аннан» — плече того, хто тримає віжки).

Нижче і дещо правіше від Візничого є зодіакальне сузір'я *Тельця* (знак δ). Тут передовсім звертає увагу невелика група зір — розсіяне скупчення *Плеяди* (від гр. Πλειάδες — безліч). Зоря α Тельця ($0,9^m$) називається Альдебаран (від араб. «ад-дабаран» — та, що йде услід, бо вона сходить відразу після Плеяд). Поряд з нею — розсіяне скупчення *Гіади* (від гр. Υάδες — мочити дощем, бо ранкова поява їх збігалася в Давній Греції з періодом дощів). Зоря β Тельця ($1,7^m$) — Нат (від араб. «натх» — ріг). Раніше її приписували сузір'ю Візничого під позначенням δ Візничого.

Зліва від Тельця видно зодіакальне сузір'я *Близнят* (знак Π). Дві його найяскравіші зорі α ($1,5^m$) і β ($1,1^m$) — Кастор і Поллукс — мають імена героїв давньогрецької міфології, зоря γ ($1,9^m$) називається Альхена. Поблизу зорі η Близнят перебувала планета Уран, коли 13 березня 1781 р. її виявив англійський астроном *Вільям Гершель* (1738–1822). Тут же, біля зорі δ Близнят перебував Плутон, коли у січні 1930 р. його двічі сфотографував американський астроном *Клайд Томбо*.

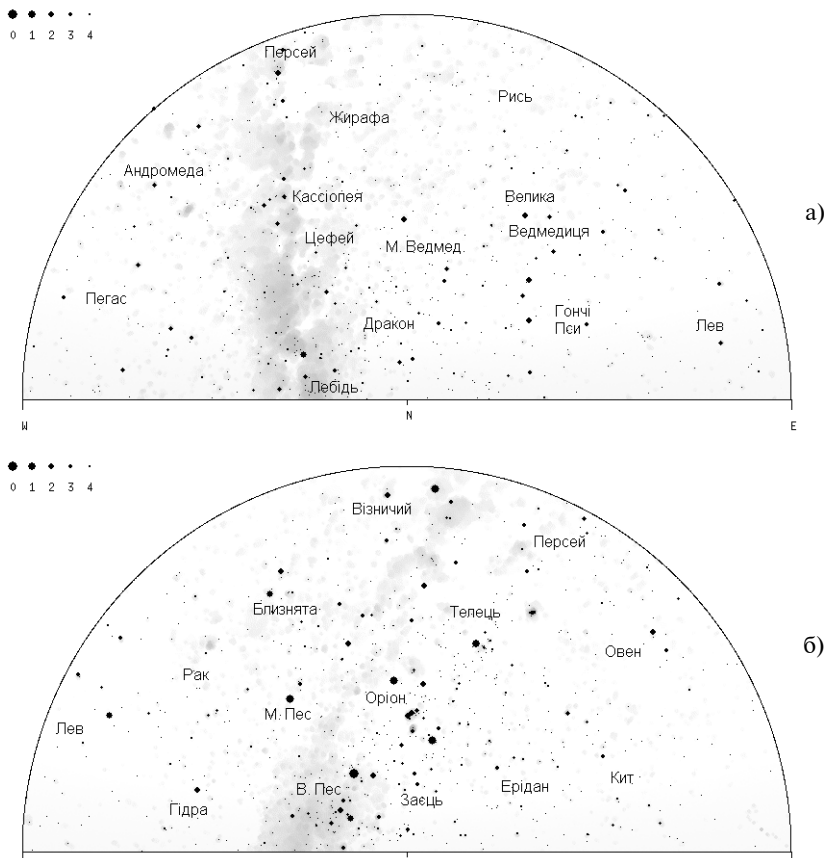


Рис. 2.13. Положення зір на північному (а) та південному (б) небосхилі (за місцевим часом): 15 грудня о 24 год., 15 січня о 22 год., 15 лютого о 20 год.

Окрасою зимового неба є сузір'я *Оріон*. Три його яскраві зорі, розташовані в ряд близько одна від одної, утворюють Пояс Оріона, наші ж предки називали їх Косарями. Найяскравішою в Оріоні є зоря β ($0,1^m$) — Рігель (від араб. «ріджл» — нога). Над Поясом Оріона є зоря α ($0,3^m \div 1,0^m$) — Бетельгейзе (від араб. «байт ал-джауза» — пахва спряженого, очевидно, арабські астрономи вбачали у цій групі якусь «подвійну людину»). Справа від зорі α є γ Оріона ($1,6^m$) — Беллатрікс (у пер. з лат. — войовничка). Зорі δ ($2,2^m$), ϵ ($1,7^m$), і ζ ($1,8^m$) Оріона —

перший, другий і третій «косар» — називаються відповідно Мінтака, Альнілам та Альнітак.

Оскільки за легендою Оріон — мисливець, який полює на Тельця, то його супроводжують *Великий Пес* (зліва внизу) і *Малий Пес* (зліва, нижче від Близнят). Обидва «небесні пси» відділені сузір'ям *Однорога*. «З-під ніг» Оріона «вистрибує» *Заєць*, ще нижче розташований *Голуб*. Справа від сузір'я Оріона до Кита і далеко на південь під горизонт тягнеться міфічна ріка *Ерідан*.

Ось власні назви декількох їхніх зір: α Великого Пса ($-1,46^m$) — найяскравіша зоря неба — це Сіріус, зоря Малого Пса α ($0,3^m$), Прокіон (точніше, Прокіон — та, що попереду Пса, оскільки вона сходить раніше від Сіріуса), зоря α Зайця ($2,6^m$) — Арнеб (від араб. «арнаб» — заєць), α Голуба ($2,6^m$) — Факт.

Сузір'я весняного неба (рис. 2.14). Хоча у середині весни центральне місце на південному небосхилі ввечері займає красиве сузір'я *Лева*, придивимось спочатку до малопомітного *Рака* (знак ♋), розташованого між Близнятами і Левом. Цікаво, що знак цього сузір'я дійшов до нас з Давнього Єгипту. Там рака, як і жука-скарабея, вважали священним. Цей другий обгортає свої яйця в маленькі кульки гною і котить їх. Єгиптяни часто зображали жука-скарабея з двома кульками, однією — між передніми ногами, другою — між задніми. Це мусило символізувати Землю і Сонце. У цьому сузір'ї є розсіяне скупчення Ясла (M 44, $3,9^m$), в якому налічується понад 300 зір. Зверху і знизу від скупчення розташовані зорі γ ($4,7^m$) і δ ($3,9^m$) — Ослята.

Зліва від сузір'я Рака є зодіакальне сузір'я *Лева* (знак ♌). Найяскравіша його зоря α ($1,4^m$) називається Серце Лева. Її грецьку назву «Василіскос» (βασιλίσκος), тобто царюк, Микола Коперник переклав латинською мовою, назвавши зорю Регул. Друга за яскравістю зоря Лева β ($2,1^m$) — Денебола (від араб. «занаб ал-асад» — хвіст Лева).

Над сузір'ям Лева бачимо невеличке сузір'я *Малий Лев*. Зліва від Лева — *Волосся Вероніки*, яке буквально «переповнене» галактиками та їхніми скупченнями. Під ним є зодіакальне сузір'я *Діви* (знак ♍), його зоря α ($1,0^m$) називається Спіка (Колос). Привертає увагу й назва зорі ϵ ($2,8^m$) — Вінде-міатрікс («збирач винограду»). У цьому сузір'ї є точка осіннього рівнодення, через яку Сонце 22 (23) вересня переходить з північної півкулі неба в південну (див. рис. 5.4).

Внизу під усіма названими сузір'ями, починаючи від Малого Пса і вліво вниз, простягнулося сузір'я *Гідри* з його найяскравішою зорею α ($2,0^m$) — Альфард, тобто «самітна». Між Гідрою і Левом є ще

малопомітне сузір'я *Секстант*. Це — пам'ять про інструмент, яким Ян Гевелій упродовж 20 років визначав координати зір з найвищою як на той час точністю.

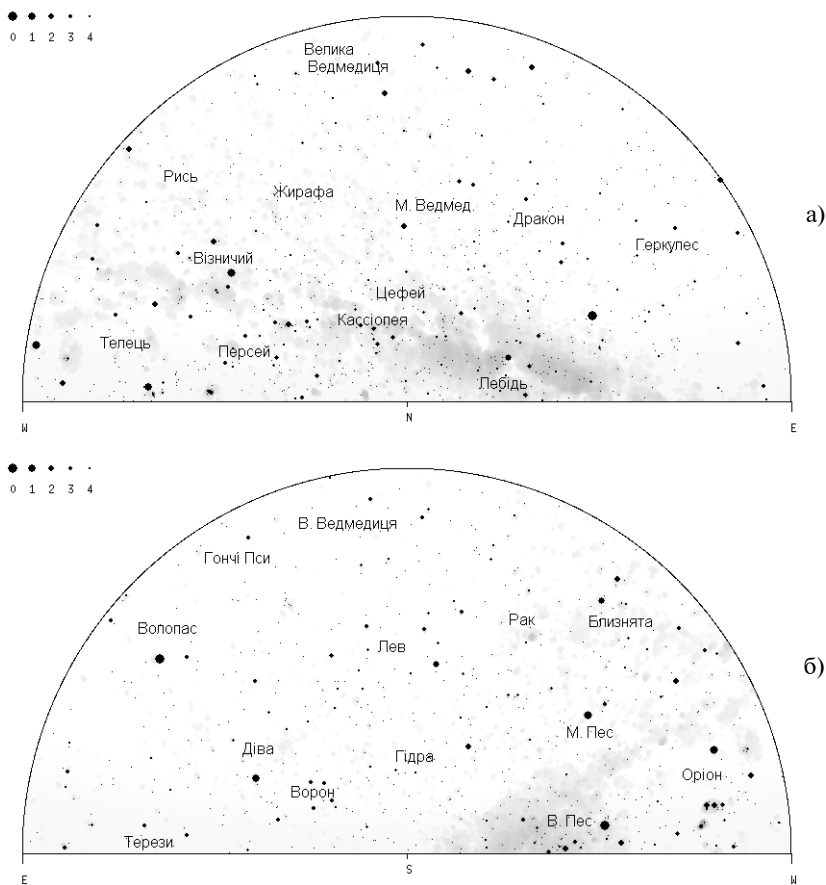


Рис. 2.14. Положення зір на північному (а) і південному (б) небосхилах (за місцевим часом): 12 березня о 24 год., 15 квітня о 22 год., 15 травня о 20 год.

Зліва від Секстанта «на спині» Гідри — сузір'я *Чаші*, ще далі *Ворон*. Зоря α Чаші ($4,0^m$) називається Алькес, β Ворона ($2,6^m$) — Краз.

Зимом та на початку весни невисоко над горизонтом у південній частині неба видно сузір'я *Корма* та *Компас*, які разом із невидимими

в нас *Парусами* і *Кілем* в минулому становили одне сузір'я — Корабель Арго. Поруч, майже на горизонті розташовані слабкі зорі *Насоса*, що його помістив на небо французький астроном Лакайль у XVIII столітті.

Сузір'я літнього неба (рис. 2.15, див. також рис. 2.12). Глянувши літнього вечора зразу ж після заходу Сонця на південний захід, можна ще побачити сузір'я Діви. Зі сходу вже піднялися сузір'я Ліри, Лебедя й Орла. У північній частині неба голова Дракона зайняла найвище можливе положення на небі (перебуває в зеніті спостерігача). У північно-західній частині неба панує Велика Ведмедиця. Зліва і трохи нижче бачимо невиразне сузір'я *Гончі Пси*, зоря α ($2,8^m$) якого називається Серце Карла. Так назвав її сучасник Ньютона Едмонд Галлей на честь англійського короля Карла II.

Високо на південному заході, наче велетенський парашут, розкинулося сузір'я *Волопаса*. Якщо продовжити вигин хвоста Великої Ведмедиці вліво, натрапимо на одну із найяскравіших зір північної півкулі неба. Це α Волопаса ($-0,05^m$) — Арктур (від гр. $\alpha\rho\kappa\tau\omega\varsigma$ — ведмідь та $\upsilon\rho\omega\varsigma$ — сторож).

На схід від купола цього «небесного парашута» бачимо мальовниче півколо сріблястих зір — *Північну Корону*. Її найяскравіша зоря α ($2,2^m$) — Гемма (перлина), або Альфека (від араб. «ал-факка» — чаша вбогих, у сучасному розумінні — дрібна монета).

Під головою Дракона, між Північною Короною і Лірою двома ланцюжками зір простяглося сузір'я *Геркулеса*. Нижня зоря правого ланцюжка зір β ($2,7^m$) називається Корнефорос, зліва внизу в другому ланцюжку є α Геркулеса ($3,1^m$) — Рас Альгеті.

На третині відстані від η до ζ Геркулеса є кулясте скупчення зір *M 13*, відстань до якого — 25 тисяч світлових років. У 1974 р. у напрямі на нього з велетенського 300-метрового радіотелескопа, встановленого у кратері згаслого вулкана на острові Пуерто-Ріко, було відправлено своєрідне «космічне послання», в якому є інформація про нашу Сонячну систему, про Землю і життя на ній. Можливо, через 50 000 років отримаємо відповідь...

Нижче від Геркулеса розташований *Зміносець*, який тримає *Змію*. Дві зорі Зміносеця називаються α ($2,1^m$) — Рас Альхаг (голова заклинача) і β ($2,8^m$) — Цельбальрай (собака пастуха). А Змія складається з двох частин, розділених Зміносоцем, так що її голова (на картах часто зветься *Serpens Caput*) є поблизу Північної Корони, а хвіст (*Serpens Cauda*) простягнувся аж до сузір'я Орла. Зоря α Змії ($2,6^m$) називається Унук Альхайя (дослівно «шия змії»). У сузір'ї Зміносеця зліва від

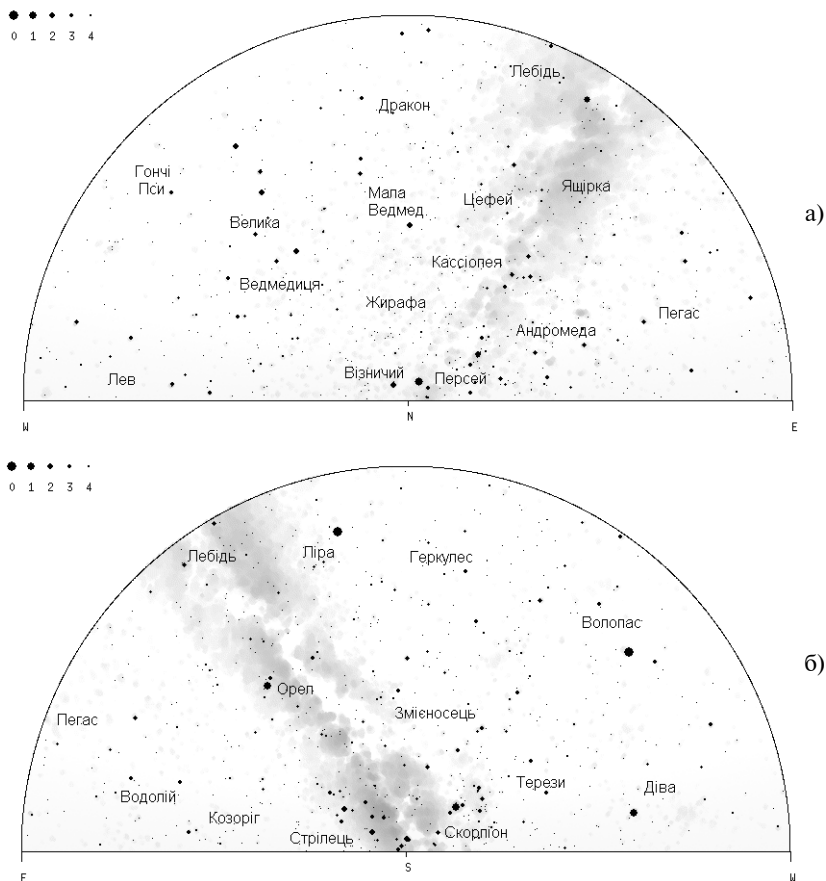


Рис. 2.15. Положення зір на північному (а) і південному (б) небосхилах (за місцевим часом): 15 червня о 24 год., 15 липня о 22 год., 15 серпня о 20 год.

зорі β у наш час є так звана «летюча зоря Барнарда», яка дуже швидко пересувається серед зір: на $10,3''$ за рік, тобто за 180 років — на довжину діаметра Місяця. Видима її величина $9,7^m$, відстань до неї — $5,9$ світлового року. Відхилення її руху від «прямолінійного» дає підставу стверджувати, що біля неї є три планетоподібні тіла з масами $1,26$; $0,63$ і $0,69$ маси Юпітера.

Внизу в південно-західній частині неба в цей час можна бачити зодіакальне сузір'я *Терези* (знак Ω). Його найяскравіша зоря α ($2,8^m$)

називається Зубен ель Генубі, зоря β ($2,6^m$) — Зубенеш. У цьому сузір'ї 2300 років тому перебувала точка осіннього рівнодення.

Під Змієносцем розташоване мальовниче зодіакальне сузір'я *Скорпіон* (знак ♏). Його зоря α ($0,9^m$) називається Антарес, що в перекладі з грецької означає «проти Арес», тобто «суперник Ареса» (вона червоного кольору). Вигнутий ланцюжок зір поблизу Терезів відображає клешні Скорпіона, зоря δ ($2,3^m$) з них називається Джубба, а зоря β ($2,6^m$), що над нею, — Акраб (скорпіон). Тулуб і хвіст Скорпіона простягнулися вліво і на південь під горизонт, тут у хвості є друга за яскравістю зоря λ ($1,6^m$) — Шаула (жало). Зорі на кінчику хвоста Скорпіона мали ще й назву — Котячі Очі.

Нагадаємо, що саме зауваживши у 134 р. до н. е. появу в сузір'ї Скорпіона нової зорі, давньогрецький астроном Гіппарх вирішив «описати небо числом», для чого й запровадив видимі зоряні величини як умовну характеристику яскравості (точніше, блиску) зір.

На самому горизонті під Терезами та Скорпіоном можна побачити кілька слабких зір *Вовка*, яскраві зорі якого в нас невидимі. Від Скорпіона до Козорога простягнулося останнє, дванадцяте зодіакальне сузір'я — *Стрілець* (знак ♐). Тут вирізняють понад десять яскравих зір, які утворюють характерні трикутники і чотирикутники. У цьому сузір'ї найяскравішою є зоря ϵ ($1,9^m$) — Каус Австраліс, зоря σ ($2,0^m$) називається Нункі, λ ($2,8^m$) — Каус Бореаліс, порівняно слабка зоря α ($4,0^m$) — Альрамі (від араб. «аррамі» — стрілець). Групу зір γ , δ , ϵ і η Стрільця арабські астрономи називали «страусами, які переходять річку», тоді як зорі ζ , σ , τ і ϕ — «страусами, що виходять з річки». Річкою тут названо Молочний Шлях.

У сузір'ї Стрільця є центр нашої Галактики. Спочатку про це дізналися, вивчаючи розташування у просторі кулястих скупчень: третина їх зосереджена саме в цьому сузір'ї. Останнім часом в результаті тривалих та високоточних спостережень, зокрема в інфрачервоному діапазоні, досліджена група зір у самому галактичному центрі. За орбітальним рухом цих зір обчислено масу невидимого об'єкта (чорної діри?), навколо якого вони обертаються — вона складає 10 мільйонів сонячних мас! Відстань до центра Галактики — 26 000 світлових років.

І, нарешті, між сузір'ями Стрільця і хвостом Змії розташований *Щит*. Це чи не єдине сузір'я, назва якого пов'язана з історичною особою, бо йдеться про щит польського короля Яна Собеського. Так назвав це сузір'я Ян Гевелій.

2.2. РОБОТА З РУХОМОЮ КАРТОЮ ЗОР'ЯНОГО НЕБА

Умови перебування над горизонтом тих чи інших сузір'їв на деякий момент часу з'ясовують звичайно за допомогою рухомої карти зоряного неба (рис. 2.16).

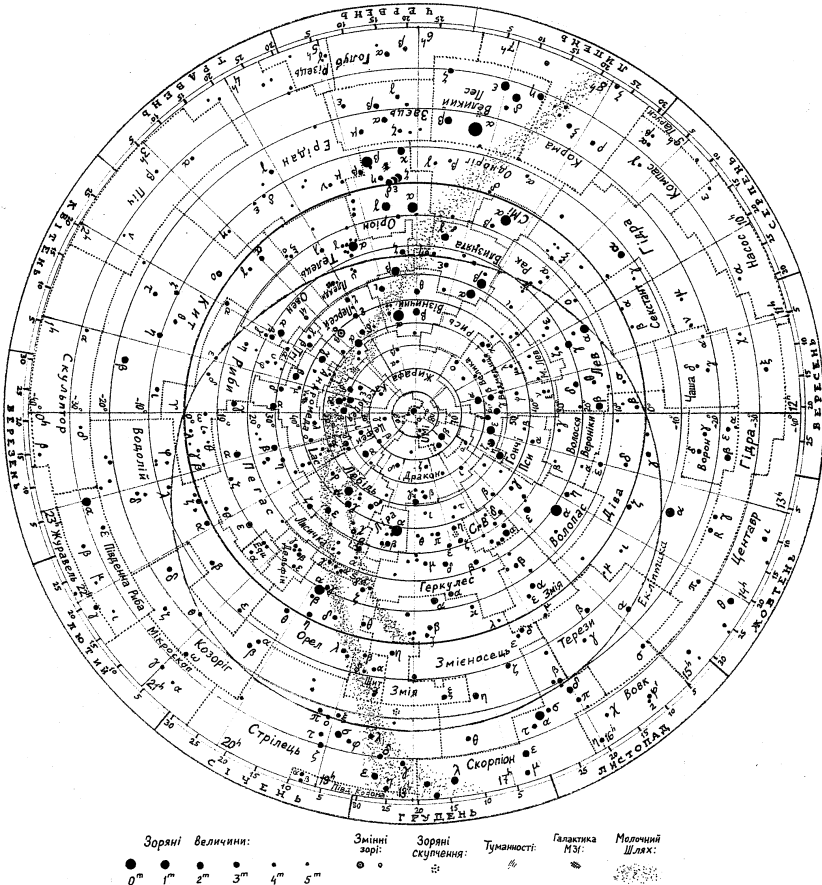


Рис. 2.16 а. Рухома карта зоряного неба

Рухома карта зоряного неба складається з двох частин. Перша — це власне карта, виконана у формі круга. Нагадаємо, що в її центрі розташований Північний полюс світу. На обводі через одну або дві

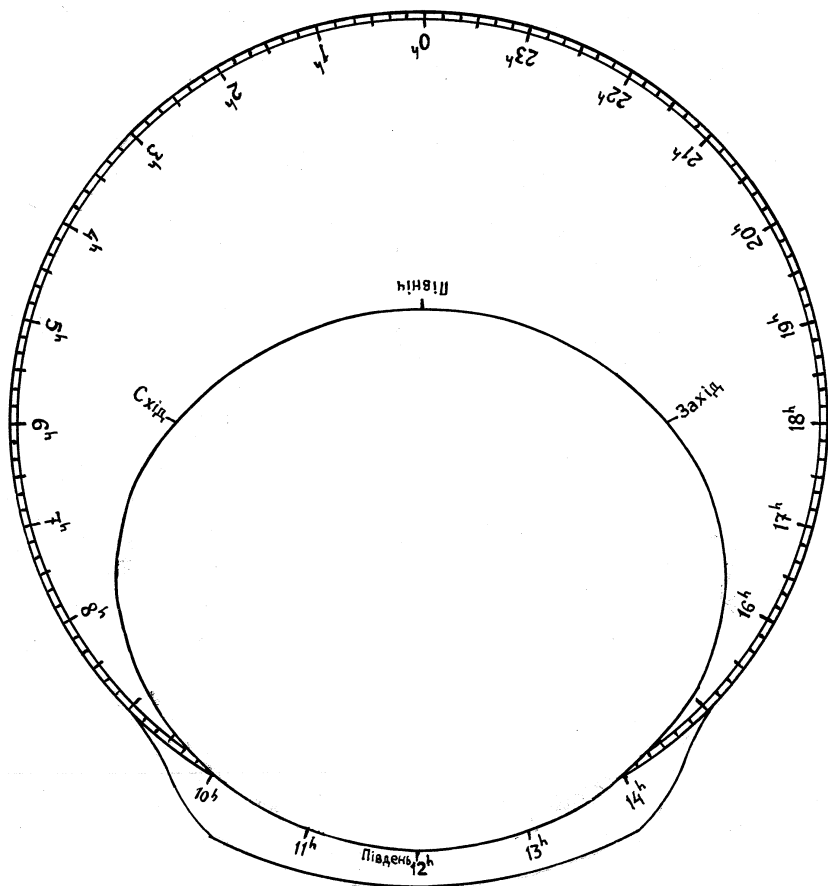


Рис. 2.16 б. Накладний круг

години проставлено пряме піднесення α зір. Радіальні лінії, що збігаються до центра карти, — це проекції кіл схилень. Схилення δ проставлене уздовж кіл схилень, що проходять через точки весняного й осіннього рівнодень. Нагадаємо також, що *дати на обводі карти зоряного неба вказують положення Сонця на екліптиці*. Це положення Сонця серед зір визначаємо, пересуваючись по радіальній прямій (колу схилень) від заданої дати у напрямі до центра карти, до перетину з екліптикою.

Другою частиною рухомої карти зоряного неба є накладний круг. На ньому накреслено овал, котрий відповідає лінії горизонту для спостерігача на північній широті 47° . Його вирізують, і отриманий отвір надалі обмежує видиму на цій широті частину неба. Практично таким кругом можна користуватися на всіх широтах нашої країни. На обводі накладного круга — місцевий середній сонячний час T_λ , проставлено години $0^h, 1^h, 2^h, 3^h, \dots, 23^h$, а поділки зроблені через 10 хвилин. Круг потрібно обрізати ззовні цього обводу.

Як карту, так і накладний круг слід наклеїти на цупкий папір або картон. Накладний круг найліпше наклеїти знизу на прозорій плівці або органічному склі. Це дає змогу, поклавши його концентрично на карту, скріпити їхні центри заклепкою, що робить карту зручнішою для використання.

На питання: «Які зорі перебувають над горизонтом такого-то числа о такій-то годині літнього (поясного) часу?» відповідають так.

По-перше, обчислюємо місцевий середній сонячний час T_λ , що відповідає заданому поясному часові T_π (літньому часові T_π), користуючись співвідношеннями $T_\lambda = T_\pi - 2^h + \lambda$ ($T_\lambda = T_\pi - 3^h + \lambda$).

По-друге, повертаючи карту під накладним кругом, суміщаємо дату спостереження з обчисленим місцевим часом T_λ .

Географічні довготи λ обласних центрів України наведено в табл. 20-А Додатка. Наближене (однак цілком достатнє для роботи з рухомою картою зоряного неба) значення своєї географічної довготи спостерігач може взяти з карти своєї області або з карти України, або ж визначити безпосередньо зі спостережень (див. нижче).

Якщо нас цікавить південна частина неба (саме тут простежуються рухи Сонця, Місяця і планет), тоді, дивлячись на південь, карту треба тримати вертикально, так, щоб число 12 накладного круга було внизу. Це число водночас вказує положення точки півдня S на горизонті. Лінія 0–12 є проекцією небесного меридіана. Взагалі ж можна спочатку підняти карту із встановленим кругом над головою так, щоб північ на крузі був у бік півночі, а потім нахилити її в той бік, що нас цікавить.

Отже, виконавши перші дві операції, ми встановили нашу карту на потрібний момент заданої дати. Аналізуємо результат.

1. Усе, що є всередині овалу, перебуває на заданий момент над горизонтом.

2. Світила, розташовані на лінії «центр — 12», перебувають у заданий момент у верхній кульмінації, відповідно ті, що на лінії «0 — центр», — у нижній кульмінації.

3. Світила, що на лівій дузі овалу (там, де точка сходу), сходять у заданий момент, відповідно ті, що на правій дузі (де точка заходу), — заходять.

4. На краю карти відчитуємо число прямого піднесення α , що біля точки 12 накладного круга. Це буде зоряний час s на заданий момент T_λ (оскільки для кожної зорі в будь-який момент часу $s = t + \alpha$, а для зір, що перебувають у верхній кульмінації, $t = 0$).

Усе виконане — це, так би мовити, пасивна констатація факту. Бо ж за допомогою рухомої карти зоряного неба можемо з'ясувати моменти сходу, верхньої (нижньої) кульмінації і заходу світил на будь-яку дату року. Наприклад, нас цікавить, коли у верхній кульмінації буває Пояс Оріона. Повертаючи карту під накладним кругом (добре було б робити це завжди в один бік — проти годинникової стрілки, тоді всі світила справді «сходять» і «заходять», як і на небосхилі), розташовуємо цю групу зір (або будь-яку іншу, що нас зацікавить) на лінії «центр — 12». Над датами власне карти на накладному крузі відчитуємо: Пояс Оріона у верхній кульмінації 1 вересня — о 7-й годині, 1 жовтня — о 5-й, 1 листопада — о 3-й, ..., 1 березня — о 19-й. А 15 грудня Оріон у верхній кульмінації буває опівночі.

Інше питання: коли на вечірньому небі бачимо зорю Антарес (α Скорпіона)? Оскільки її схилення $\delta = -26,3^\circ$, то найліпше спостерігати цей «супротивник Ареса» поблизу небесного меридіана. Помістивши зорю на лінію «центр — 12», виявляємо, що 15 червня (для її верхньої кульмінації) $T_\lambda = 22$ год. 50 хв., 1 липня — 21 год. 50 хв., 15 липня — 20 год. 52 хв., 1 серпня $T_\lambda = 19$ год. 52 хв. З табл. 15-А Додатка довідуємося, що 1 липня Сонце заходить у момент $T_\lambda = 20^h12^m$, 15 липня — при $T_\lambda = 20^h04^m$, 1 серпня — при $T_\lambda = 19^h49^m$ (на географічній широті $\varphi = 50^\circ$). Найяскравіші зорі з'являються на небі через 30–40 хвилин (це тривалість побутових присмерків). Отже, 15 липня після заходу Сонця і появи на небі найяскравіших зір Антарес буде у південній частині небосхилу. Через два тижні після закінчення вечірніх присмерків ця зоря вже відійде від небесного меридіана в бік заходу, і з кожним наступним днем умови для її спостереження будуть погіршуватися.

Зазначимо, що деякі народи (зокрема, греки і латиняни) пов'язували строки проведення польових робіт з появою (точніше, з характерним положенням) на небі окремих зір та їхніх скупчень (як ось Плеяди та Гіади). Наприклад, поет Гесіод (VIII ст. до н. е.) у поемі «Роботи і дні» радив селянам: «Починай жнива, коли Плеяди сходять,

а оранку — коли починають заходити... З'являється ввечері Арктур — підрізуй виноградні лози...» Про це ж мовиться і в праці Марка Теренція Варрона (I ст. до н. е.) «Сільське господарство»: «Між весняним рівноденням і сходом Вергілій (тобто Плеяд, їхній ранковий схід є в середині травня. — *Авт.*) прополіють ниви, ...рубають вербу, огорожують луки..., садять маслини».

З цих двох прикладів бачимо, що люди в давнину дуже уважно стежили за характерними сходами і заходами зір. Відомо, що в Давньому Римі було прийнято говорити про ранковий схід тої чи іншої зорі як ми кожний день говоримо про погоду. До речі, мистецтво «читання знаків, написаних на небі», вважали даром Прометейя...

Отже, йдеться про такі явища.

1) Перша поява зорі на сході перед сходом Сонця — *геліакічний схід*. До цього дня зорю не було видно на яскравому фоні неба перед сходом Сонця. Тепер зорю можна побачити на кілька хвилин після її сходу, після чого вона зникає в промінні ранкової заграви, але з кожним наступним ранком її можна бачити все довше і довше.

2) Захід зорі на початку ранкових присмерків — *космічний захід*. Захід зорі у попередні дні не спостерігався на вже світлому тлі неба, а у наступні дні зоря вже заходитиме на темному ще небі.

3) Схід зорі після заходу Сонця — *акронічний схід*. До цього схід її спостерігався на темному небі, а після цього, щоб її побачити, треба дочекатися, коли небо потемнішає, а тоді зоря вже буде на деякій висоті над горизонтом.

4) Захід зорі після заходу Сонця — *геліакічний захід*. Це останній день, коли зорю, безпосередньо перед її заходом, можна ще побачити на небі, що вже потемніло. Після цього зорю не видно на протязі кількох тижнів, аж до її геліакічного сходу.

Щодо назв: геліакічний схід чи захід наче пов'язаний з Геліосом — Сонцем (зоря справа чи зліва від нього, відповідно — вранці й увечері, на 10–15° — для зір, що поблизу небесного екватора). Грецьке слово *ακρος* означає «вищий», очевидно, малося на увазі найдаліше положення щодо Сонця; *κοσμος* — «прикраса», тут, мабуть, мали на увазі, що захід зорі у ранкових присмерках є чудовим.

Розв'язуючи задачі на ці особливі сходи чи заходи, зорю розміщуємо на горизонті у східній чи західній частині овалу карти (залежно від завдання). Уважаємо, що тривалість присмерків у середньому становить 40 хвилин. Це означає, що зорю буде видно на горизонті (над горизонтом), якщо з моменту заходу Сонця минув час, що дорівнює

тривалості присмерків. Тому до календарних дат пересуваємося не від перетину екліптики з горизонтом, а від тої точки екліптики, яка змістилася під горизонт на 40 хвилин. Відповідно, визначаючи дату геліакічного сходу чи космічного заходу зорі, на екліптиці беруть ту точку, перебуваючи на якій, Сонце могло б з'явитися над горизонтом через 40 хвилин. Ідучи від цієї точки по радіальній прямій до кола дат, визначаємо місяць і день, коли це станеться.

Орієнтовні (з похибкою у кілька діб) дати сходу і заходу десяти найцікавіших зір наведені у табл. 3-В Додатка.

Однак, якщо потрібно проводити спостереження зоряного неба, а рухомої карти немає, то можна використати звичайну карту зоряного неба. Ще раз нагадаємо, що дати на обводі карти вказують положення Сонця на екліптиці. Тож позначаємо передовсім цю дату на сьогоднішній день та положення Сонця. Потім уявно зміщуємо Сонце (повертаючи всю карту), вправо за горизонт, пам'ятаючи, що упродовж 40 хвилин (вечірні присмерки) зір на небі ще не видно. Звичайно, на вечірньому небі будуть ті сузір'я, які є «зліва» від Сонця, тобто які мають більші, ніж Сонце, прямі піднесення α . У верхній кульмінації через годину після заходу Сонця будуть ті світила, прямі піднесення яких приблизно на 7^h більші, ніж у Сонця у заданій даті. Аналогічно, вранці за годину до сходу Сонця у південній частині неба бачимо ті світила, прямі піднесення для яких на 7^h менші.

Тут нічого не говорилося про визначення за допомогою рухомої карти неба моментів сходу і заходу Сонця та Місяця. Щодо Сонця, то відповідні моменти визначаємо у той же спосіб, що й для зір, беручи до уваги точку екліптики, в якій на задану дату перебуває Сонце. Якщо ж говорити про Місяць, то мусимо попередньо дізнатися про його координати на цю дату. Вони наведені у щорічному «Астрономічному календарі». Знаючи його координати, обчислюємо моменти сходу та заходу Місяця, а також моменти його верхніх кульмінацій. Так само, за координатами з «Астрономічного календаря» визначаємо час сходу та заходу планет і комет.

Рухому карту можна використовувати для приблизного розв'язання і більш складних задач. З іншого боку, досвідчений користувач Інтернету може це все знайти, не відходячи від комп'ютера. Але для свідомого вивчення астрономії така карта вкрай необхідна.

2.3. ВИКОРИСТАННЯ ЗОРЯНОГО ГОДИННИКА

Як ми вже переконалися, «прокручуючи» рухому карту зоряного неба, зокрема, з'ясовуючи умови перебування Поясу Оріона у верхній кульмінації (1 січня — о 23 годині, 1 лютого — о 21 годині, 1 березня — о 19 годині), та вибравши на небі декілька зір чи їхніх груп (рівномірно розподілених уздовж небесного екватора), можна, глянувши на південну ділянку неба та зважаючи на «нинішню» дату, відразу визначити час.

Зокрема, так робили давні єгиптяни. З цією метою вони користувалися *деканами* — 36 зір чи їхніх груп, через $\approx 10^\circ$, які одна за одною підіймалися над горизонтом у східній частині неба, щоб заховатися десь через 12 годин у західній. Списки (таблиці) деканів знайдено у гробницях фараонів з XVI ст. до н. е.

Можливо, не зовсім зручно одному з авторів книжки звертатися до спогадів, але йдеться про цікавий факт. Батько автора Антон Васильович Климишин (1905–1987) як найстарший син у багатодітній родині змалку мав за обов'язок доглядати коней (їх було двоє) і влітку водив їх на ніч пасти. Виведе десь за село, спутає, простелить гуню, ляже горілиць і... задивляється в оту величну Книгу зоряного неба. І хоча освіту мав найменшу — два класи церковно-приходської школи, — однак цю зоряну Книгу вивчив бездоганно. Напевне, неодноразово зіставивши вигляд зоряного неба з показом годинника, який десь з початку 30-х років був у сусідів, ці знання він закріпив на все подальше життя. Авторів доводилося ходити до школи у 5–7 класи за 6 кілометрів, узимку дійти треба було затемна, однак завдяки цим батьковим знанням ні разу не запізнівся і не чекав біля замкнених дверей. У 1952 р. вдалося перевірити батькові знання за допомогою годинника. Дивовижно, але з урахуванням того, що тоді користувалися декретним часом, похибка не перевищувала 10–15 хвилин!

Уявімо собі, що ми дивимося на північ і що ми можемо бачити зорі вдень. Пригляньмося до Великої Ведмедиці (рис. 2.17). За добу це сузір'я (втім, як і інші) здійснює повний оберт навколо Північного полюса світу. Розпочнемо спостереження 1 вересня о 20 годині місцевого часу ($T_\lambda = 20^h00^m$). У цей момент ручка Ковша (чи дишель Воza) займає положення 1 «уліво вверху». Через $1/4$ доби $= 6$ год. вона опиниться в положенні 2 «уліво вниз», через наступні 6 год. — у положенні 3 — «вправо вниз», і нарешті, ще через 6 год. — у положенні 4

«вправо вверх». Зауважимо, що в останньому випадку Велику Ведмедицю в Україні видно поблизу зеніту, що утруднює орієнтування.

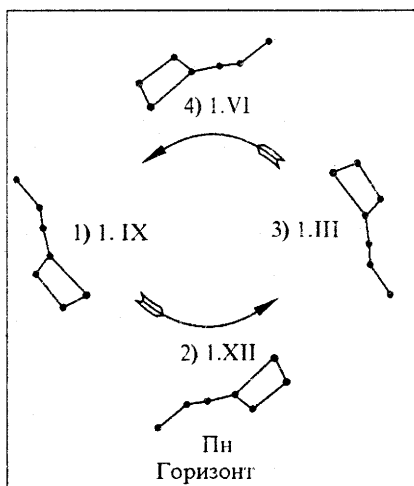


Рис. 2.17. Положення Ковша Великої Ведмедиці (Великого Воза) відносно горизонту о 20 год. місцевого часу на початку осені (1); зими (2); весни (3); літа (4)

Якщо б протягом року Сонце не рухалося по екліптиці, то ці характерні положення Ковша та $T_{\lambda} = 20^h00^m$ (положення 1), 2^h00^m (2), 8^h00^m (3) і $T_{\lambda} = 14^h00^m$ (положення 4) можна було б запам'ятати без особливих зусиль, а також дуже швидко визначати час і для проміжних положень.

Однак протягом місяця (30 днів) Сонце по екліптиці зміщується на 30° , а це відповідає зсуву в положенні сузір'я (ми бачили це на прикладі з Оріоном) на 2 години. За три місяці це 6 годин. Отже, якщо ми починаємо досліджувати цей «небесний годинник» не у вересні, а, скажімо, 1 грудня, то на той же час $T_{\lambda} = 20$ год. Ківш займає положення 2, через 6 год. — по-

ложення 3 і т. д. Тобто через кожні три місяці уявна стрілка «небесного годинника» починає відлічувати час з положення, точно на 90° (тобто на 6 годин) зміщеного «зліва направо».

Отже, дослідник зоряного неба мусить знати, зокрема, що в положенні 2 на початок вересня Ківш Великої Ведмедиці буде о 2 годині ночі, на початок грудня — о 20 годині, 1 березня — о 14 годині. Ці знання дають змогу побудувати так званий *зоряний*, або *полярний годинник*, за яким можна визначати як місцевий сонячний час T_{λ} , так і зоряний час s . Для цього вирізаємо з картону два круги різного діаметра (наприклад, 9 і 10,5 см). Більший з них буде циферблатом. На його обводі у напрямі, протилежному до обертання годинникової стрілки, через однакові проміжки часу запишемо числа 1, 2, 3, ..., 23, 0 (рис. 2.18). Менший круг розділимо на 12 частин за кількістю місяців у році. На його обводі за годинниковою стрілкою запишемо назви місяців, а відповідні їм дуги розділимо на п'ятиденки. У секторі

«вересень» малюємо Ківш Великої Ведмедиці. Оскільки наш годинник призначений для *приблизного* визначення часу, Полярну зорю позначимо в центрі і проведемо лінію від Полярної через середину відрізка, що з'єднує зорі γ і δ Великої Ведмедиці. Ця пряма далі пройде через точку осіннього рівнодення. Вона й буде стрілкою полярного годинника. Малий круг накладемо на більший, сумістимо їхні центри і скріпимо так, щоб вони вільно оберталися.

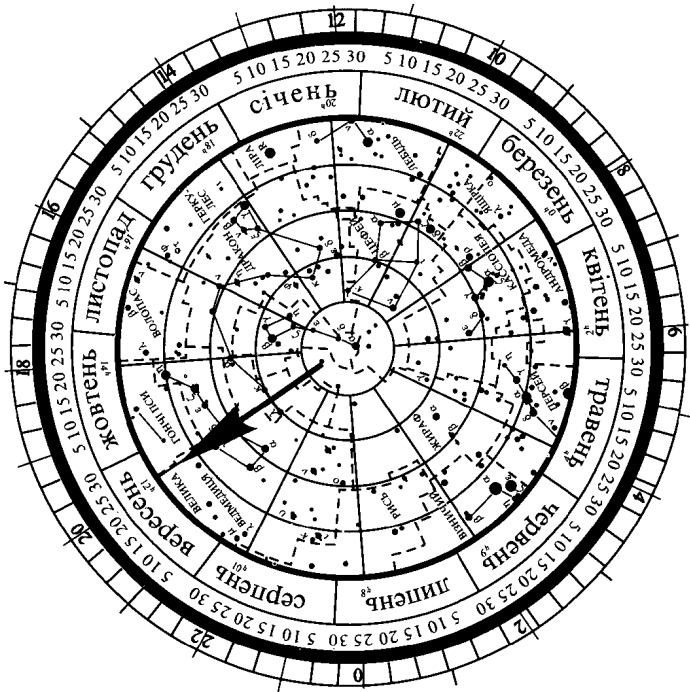


Рис. 2.18. Зоряний годинник

Для вимірювання часу циферблат годинника встановлюємо цифрою 0 униз. Ставши обличчям до півночі, повертаємо мале коло так, щоб зображення Великої Ведмедиці на ньому зайняло таке ж положення відносно центра годинника і лінії виска, яке займає це сузір'я на небі щодо Полярної зорі. Після цього на циферблаті навпроти стрілки фіксуємо місцевий зоряний час s , а навпроти дати спостереження — місцевий сонячний час T_{λ} .

Конкретно в показаному на рис. 2.18 положенні Ковша $s = 20$ год. 00 хв. 25 липня $T_\lambda = 24$ год., 25 серпня — 22 год., 25 вересня — 20 год., 25 жовтня — 18 год.

Після деякого тренування цю задачу можна розв'язувати і без зоряного годинника безпосередньо за положенням зір Великої Ведмедиці відносно горизонту. Завзяті мореплавці-козаки, які на декілька тижнів опинялися серед хвиль Чорного моря, також визначали час і напрям за зоряним небом!

Дещо про шкалу зоряного часу. Як знаємо, зоряний час відлічують від верхньої кульмінації точки весняного рівнодення. Однак цей кут буде дорівнювати кутіві, що його опише точка осіннього рівнодення від своєї нижньої кульмінації. Це дає змогу використовувати одну й ту ж шкалу для відліку як сонячного часу T_λ , так і зоряного s .

2.4. ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ СПОСТЕРІГАЧА

Сучасні прилади глобального позиціонування (Global Positioning System — GPS) дозволяють визначити координати місця спостереження з фантастичною точністю — до сотих кутової секунди. Програмні засоби Google в Інтернеті повідомляють точні координати місця курсору на зображенні ділянки земної поверхні. З меншою точністю — десь до 1' можна визначити координати свого астромайданика за допомогою докладних карт, що є в продажу. Нагадаємо, що похибка 1' відповідає (на широтах України) зміщенню близько 1,2 км за довготою і 1,85 км за широтою, а похибка в 1" дорівнює відповідно 20 і 30 м.

І все ж визначати свої координати за астрономічними спостереженнями бажано й доцільно, оскільки це сприяє глибшому засвоєнню окремих питань астрономії, зокрема, теореми: *висота полюса світу над горизонтом дорівнює географічній широті спостерігача.*

Полюс світу — це точка уявна, однак поблизу Північного полюса світу є яскрава Полярна зоря. У 1966 р. відстань від Полярної до Північного полюса світу становила 54', через 20 років, у 1986 р., вона зменшилася до 49', ще через десять років, у 1996 р., було 45' (щороку її пряме піднесення зростає приблизно на 1", а схилення — на 16"). Це і слід мати на увазі під час спостережень Полярної. Зараз (2012–2013 рр.) Полярна зоря описує навколо полюса світу коло радіусом 43'. Крім того, у момент зоряного часу $s = 2$ год. 45 хв. Поляр-

на перебуває у верхній кульмінації — над полюсом світу, при $s = 14$ год. 45 хв. — у нижній кульмінації — під полюсом світу.

Саме в ці моменти найліпше визначати широту. У першому випадку обчислену висоту Полярної зменшуємо на кут $43'$, у другому — на стільки ж збільшуємо. Крім того, оскільки в кульмінаціях висоти зір змінюються найповільніше, то вимірювання можемо виконувати без поспіху.

Встановивши на рухомій карті зоряного неба біля числа 12 накладного круга пряме піднесення $\alpha = 2$ год. 45 хв., бачимо, що ввечері такі спостереження можна проводити 1 грудня близько 22 год., 1 січня — о 20 год., 1 лютого — о 18 год. місцевого середнього сонячного часу. Випадок, коли $s = 14$ год. 45 хв., можна використати 1 травня близько 24 год., 1 червня — о 22 год. і 1 липня — при $T_\lambda = 20$ год.

У вказані моменти зоряного часу можна визначити напрям полюдної лінії, використовуючи теодоліт: спочатку зафіксувати напрям на Полярну, а потім виміряти кут між цим напрямом та орієнтиром на горизонті.

Після цього, встановивши трубу теодоліта в площині небесного меридіана, очікуємо проходження наперед вибраної зорі через поле зору інструмента. У момент, коли зоря перетинає вертикальну нитку, на годиннику фіксуємо час. Якщо ж зоря утримувалася на горизонтальній нитці, то можна визначити висоту зорі $h_{\text{вк}}$ і за формулою $h_{\text{вк}} = (90^\circ - \varphi) + \delta$ ще раз обчислити широту φ (верхню кульмінацію зорі спостерігаємо у південній частині неба). Довготу λ визначають з умови, що зоряний час s у момент спостереження дорівнює прямому піднесенню α зорі, яке беруть з каталогу. Зоряний час спостерігача s пов'язаний із зоряним часом нульового (гринвіцького) меридіана s_0 співвідношенням $s = s_0 + \lambda$.

Отже, $\lambda = s - s_0$. Зоряний час нульового меридіана обчислюємо за допомогою переходу від зафіксованого, скажімо, літнього часу $T_{\text{л}}$ до всесвітнього T_0 :

$$T_0 = T_{\text{л}} - (N + 1)^h,$$

і від середнього сонячного часу нульового меридіана T_0 до зоряного часу S_0 на цей момент

$$s_0 = S_0 + T_0 + \Delta T_0.$$

Зоряний час на початок доби S_0 виписуємо з «Астрономічного календаря», поправку ΔT_0 переходу від сонячного часу до зоряного — з табл. 13-А Додатка.

Дуже приблизно широту можна визначити без приладів за висотою Полярної зорі. Але візуальні оцінки висоти світил призводять до істотних помилок, пов'язаних з тим, що ми підсвідомо вважаємо, що «до горизонту далі, ніж до зеніту» і тому перебільшуємо кутові відстані біля горизонту і зменшуємо біля зеніту. Позірні й справжні висоти наведені в табл. 18-А Додатка. Про правильність цього свідчить хоча б те, що кутові розміри Сонця і Місяця біля горизонту видаються удвічі-утричі більшими, ніж при їхньому найвищому положенні над горизонтом. Однак вимірювання теодолітом дають однакові результати.

3. СОНЦЕ

Сонце — найближча до нас зоря. Вона настільки близька, що її кутові розміри досягають $0,5^\circ$, отже, ми бачимо окремі деталі її поверхні. На самому диску Сонця є плями, факели, волокна, спалахи, за краєм диска — протуберанці. Вивчення усіх цих явищ дає змогу ліпше розуміти природу інших зір, розташованих значно далі.

Найосновніші знання про Сонце отримано протягом останніх ста п'ятдесяти років. Усе, що мовилося про нього раніше, було більш чи менш вдалим здогадами. Скажімо, давньогрецький філософ Фалес (VI ст. до н. е.) уважав Сонце, Місяць і зорі небесними вогнями, що живляться парою води. Інший філософ тих часів Анаксагор твердив, нібито усі ці світила — це камені, які колись відірвалися від Землі й перебувають у розжареному стані внаслідок швидкого руху. За Аристотелем, вони мали бути згустками якоїсь незмінної та незнищеної форми матерії — ефіру.

Тільки у XV ст. цей погляд заперечив учений-кардинал Микола Кузанський, зазначивши, що небесні тіла складаються з тієї ж речовини, що й Земля. Однак ще довго нічого конкретного щодо фізичного стану цієї речовини сказати не могли. Тому й після відкриття сонячних плям уважали, що вони є кратерами на вершинах сонячних гір, або отворами в зовнішньому розжареному шарі, крізь які видно відносно прохолодну і темну поверхню. Ньютон і Гершель навіть припускали можливість того, що ця поверхня заселена живими істотами...

Фізичні процеси, що перебігають у надрах Сонця, та джерела його енергії описані в розділі 7. Нагадаємо лише, що за розмірами Сонце у 109 разів більше від Землі: його лінійний радіус $R_{\odot} \approx 696000$ км. Маса Сонця у 330000 разів більша від маси Землі. Температура тих шарів Сонця, випромінювання з яких доходить до Землі («поверхнева температура»), становить 5800 К, у центрі — ≈ 14000000 К. У центральній зоні Сонця завдяки «згорянню» водню виділяється енергія, яка повільно просочується до поверхні й випромінюється у навколишній простір. Додамо, що потужність, чи світність, Сонця $L_{\odot} \approx 3,84 \cdot 10^{26}$ Вт. Сонце випромінює в усіх напрямках однаково, і Земля «перехоплює» тільки одну двохмільярдну частину його енергії. Втім, на 1 квадратний метр на відстані Землі від Сонця надходить 1370 Вт. Це — так звана *сонячна стала*.

Щоб з'ясувати природу процесів у верхніх, досяжних для спостережень, шарах Сонця, розглянемо *механізми переносу енергії* з надр Сонця до його поверхні. Таких механізмів є два: перевипромінювання квантів («порцій») світла і рух нагрітої речовини вверх (конвекція). Як бачимо, будова Сонця складна (рис. 3.1). У його надрах атоми різних хімічних елементів майже повністю іонізовані, там енергію переносить саме перевипромінювання квантів. Проте у зовнішніх шарах Сонця (зрештою, йдеться про порівняно тонкий шар товщиною, можливо, лише 30000 км) речовина іонізована («у середньому» по товщині шару) наполовину. І тут діється щось подібне до того, як у посуді з водою, який знизу нагрівають: молекула, яка з dna посуду отримала енергію, «не має кому її віддати» й мусить підійматися вверх. Так відбувається конвективний перенос енергії у поверхневих шарах Сонця.

Однак у Сонці рухаються *заряджені* частинки. А під час руху електричних зарядів виникають магнітні поля. Оскільки ж напрями цих полів є різними, то вони взаємно знищуються в одних місцях і водночас об'єднуються у *магнітні трубки* в інших. Якщо така трубка спливає на поверхню Сонця, то вона розштовхує газ і створює явище темної *сонячної плями* (рис. 3.2 і 3.3). Пляма має більш темну *тінь (ядро)*, оточену *півтінню*.

Нагадаємо, що зовнішня оболонка, точніше атмосфера Сонця, випромінювання з якої вже здатне вийти у міжпланетний простір, складається з трьох частин. Нижній шар (товщиною близько 700 км) називається *фотосферою* (від гр. φως — світло, σφαίρα — куля). Від нього до нас іде випромінювання в неперервному спектрі Сонця. Оскільки товщина цього шару десь у тисячу разів менша за його радіус, для земного спостерігача Сонце виглядає як чітко окреслена куля. Тільки при збільшенні у сотні разів видно, що Сонце не має певної поверхні. Вказуючи радіус Сонця, мають на увазі радіус умовної сферичної поверхні, котра проходить на половинній товщині фотосфери. Над фотосферою є *хромосфера* («кольорова сфера»), її товщина 12000 км, під час повних сонячних затемнень її видно у вигляді червонуватого кільця, яке охоплює темний диск Місяця. У хромосфері формується лінійчастий спектр Сонця. Над хромосферою простягається *сонячна корона*.

Плями — це саме фотосферні утворення. Крім того, на поверхні Сонця бачимо *гранули* — наче світлі зерна рису на темнішому тлі. Це нагріті згустки речовини, що піднялися з глибших шарів Сонця. Охолджуючись, вони знову опускаються вниз.

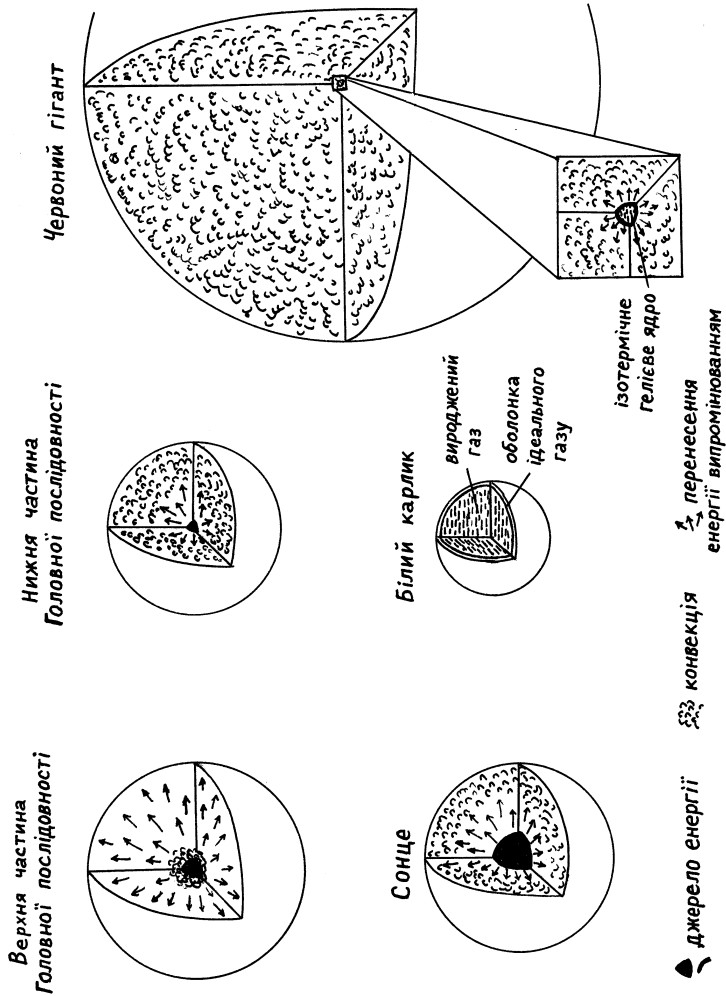


Рис. 3.1. Схема внутрішньої будови Сонця: у глибших його шарах енергія від центральної зони, де вона виділяється, переноситься вгору перевипромінюванням квантів світла, однак у зовнішніх шарах Сонця — конвекцією, тобто завдяки підйому нагрітої речовини. Для порівняння наведено схеми будови інших зір (див. також розділ 7.1)

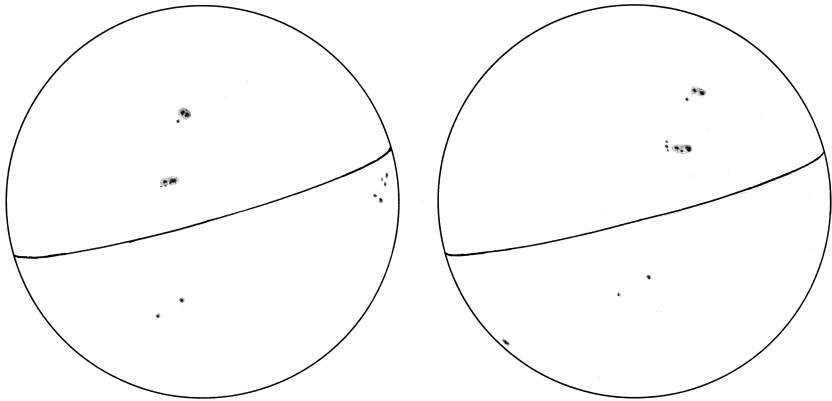


Рис. 3.2. Плями на поверхні Сонця 13 (ліворуч) і 15 (праворуч) серпня 1998 р.

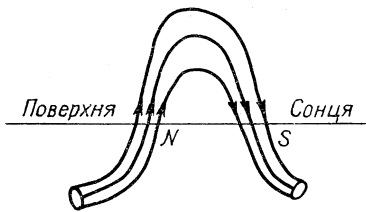


Рис. 3.3. Схема виходу на поверхню Сонця магнітних силових ліній та утворення плям

Отже, якщо пляма — це магнітна трубка, що спливла на поверхню Сонця, то є місце, де магнітне поле виходить з глибини Сонця (ця пляма матиме північну полярність *N*) і де повертається вниз (там південна полярність *S*). Найчастіше у другому випадку поле «дробиться» й утворюється велика кількість менших плям. Оскільки магнітне поле заважає рухові речовини, то,

по-перше, в самій плямі затримуються охолоджені порції речовини, котрі стають значно темнішими, ніж сусідні ділянки фотосфери, а, по-друге, надлишок енергії просочується поблизу плям. Так утворюються яскравості — *факели*.

Підіймаючись на поверхню Сонця, магнітне поле тягне за собою деяку частину газу, утворюючи над фотосферою «стовпи», «арки», які на краю диска бачимо у вигляді *протуберанців*, а на самому диску — у вигляді темних *волокон*.

Однак найефективнішим проявом *сонячної активності* є *сонячні спалахи*. При зближенні магнітних полів протилежної полярності магнітне поле руйнується. За 5–10 хвилин вивільнюється енергія, що еквівалентна вибухові мільйонів водневих бомб. Під час спалаху виникає потужне

випромінювання в ультрафіолетовому, рентгенівському і радіодіапазонах. З'являються також *сонячні космічні промені* — потоки електронів, протонів і важчих ядер, які рухаються від Сонця зі швидкостями до 30000 км/с. Але у видимому світлі спалахи майже непомітні. Тому плями люди помічали здавна, найбільші — навіть неозброєним оком, крізь негусті хмари, а спалах вперше спостерігав тільки у 1859 році англійський астроном Керрінгтон. Вражаюча потужність спалахів теж дуже мала порівняно із загальною потужністю Сонця — не більше 0,01 % останньої.

До програми навчальних спостережень Сонця варто включити, по-перше, стеження упродовж року за зміною висоти Сонця в меридіані (що дає змогу визначити кут нахилу площини небесного екватора до екліптики), побудову сонячного годинника, наближене визначення координат, по-друге, спостереження сонячних плям, по-третє, ознайомлення з умовами настання сонячних затемнень та їхньою видимістю з різних пунктів Землі.

3.1. СПОСТЕРЕЖЕННЯ СОНЦЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ГНОМОНА І КВАДРАНТА

Ми вже знаємо, що видимий річний рух Сонця на небі відбувається по екліптиці, площина якої нахилена до площини небесного екватора під кутом $\varepsilon = 23,5^\circ$. Тому передовсім звернемо увагу на те, що висота Сонця в меридіані (у верхній кульмінації) протягом року коливається в межах від $h_{\text{вк}} = (90^\circ - \varphi) + 23,5^\circ$ до $h_{\text{вк}} = (90^\circ - \varphi) - 23,5^\circ$ (рис. 3.4), де φ — географічна широта спостерігача. Зокрема, при $\varphi = 50^\circ$ висота Сонця у верхній кульмінації 22 червня дорівнює $63,5^\circ$, а 22 грудня — лише $16,5^\circ$.

Тому протягом року також змінюються азимути точок сходу і заходу Сонця. Наприклад, для тієї ж широти $\varphi = 50^\circ$ азимут точки заходу Сонця наприкінці грудня 54° , тоді як наприкінці червня — 129° . Отже, упродовж року точка заходу (і сходу) Сонця тут пересувається вздовж горизонту на кут 75° (табл. 17-А Додатка).

Уточнення. «Традиційні» дати рівнодень — 21 березня і 23 вересня. Втім, до 2100 року ці явища (як і сонцестояння) відбуватимуться в середньому на добу раніше, тому що у григоріанському календарі зайві високосні роки вилучаються нерівномірно.

Крім того, на широті $\varphi = 50^\circ$ 20 березня, коли, за визначенням, тривалість дня нібито дорівнює тривалості ночі, день насправді має

12 год. 10 хв., а не 12 год. 00 хв. Рівнодення ж буває 17–18 березня (восени 26 вересня).

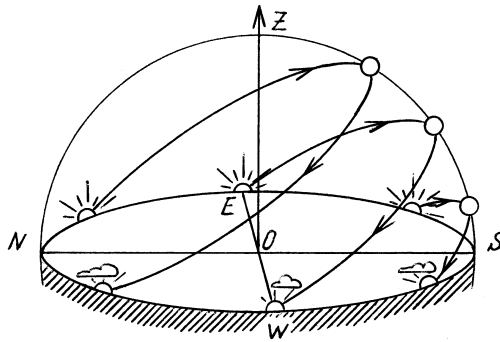


Рис. 3.4. Видимий рух Сонця на небі в дні сонцестоянь і рівнодень

Причини цього є дві. По-перше, тривалість дня визначають за появою над горизонтом і зникненням за ним не центра диска Сонця, а його верхнього краю. По-друге, завдяки атмосферній рефракції ми бачимо Сонце не там, де воно є насправді, а дещо вище від його дійсного розташування (біля горизонту — на $35'$).

Точка сходу Сонця також зсувається вліво (у бік півночі), а точка заходу — вправо (у той же бік) на 1° (на два видимі кутові діаметри Сонця) відносно точок сходу E і заходу W . Тобто в день весняного рівнодення Сонце сходить не в точці сходу, як це було б на планеті без атмосфери, а на цілий градус північніше.

Зважаючи на це, спробуємо встановити орієнтири в напрямку точок сходу Сонця 20 березня, 21 червня, 22 вересня і 21 грудня, якщо лише місцевість, де проводять спостереження, рівна і горизонт відкритий. Потім хоча б зрідка стежимо за тим, як день у день Сонце сходить, пересуваючись від одного орієнтира до іншого. Зазначимо, що в далекому минулому такі спостереження проводили люди, які заселяли найрізноманітніші закутки Європи, Азії та Америки. Про це свідчить Стоунхендж в Англії, споруджений більше 4000 років тому, системи храмів у майя тощо. Так люди вирішували для себе дуже важливу проблему: зійшло Сонце над серединою дуги «ковзання по азимуту» (чи в одній із крайніх точок) — значить, закінчився один цикл, і можна розпочинати лічбу днів нового календарного року. Зокрема, традиція розпочинати Новий рік поблизу весняного

рівнодення була в багатьох народів світу, в тому числі й у наших далеких предків.

Проведення полуденної лінії. На кожному астрономо-географічному майданчику доцільно провести *полуденну лінію*, яка вказуватиме напрям *географічного меридіана*. Перпендикулярна до неї лінія визначить напрям *схід–захід*. Таким чином знаходимо положення на горизонті точок *N, E, S, W*, які дають змогу відразу орієнтуватися в тому, де проводять будь-яке спостереження (у західній, у південно-західній та інших частинах неба).

Це завдання вирішуємо за допомогою *гномона* — строго вертикального, висотою 1–2 м, стрижня, встановленого на акуратно вирівняному горизонтальному майданчику, радіус котрого має бути десь до п'яти висот гномона. Приблизно з 10 години ранку через кожні 30 чи 40 хвилин відмічаємо положення кінця тіні від гномона за допомогою невеличких кілочків, відміток крейдою чи заглиблень у ґрунті. Завершуємо ці спостереження близько 4 години після полудня. Плавна лінія, проведена через ці позначки, відтворить траєкторію кінця тіні від гномона. Напрямок найкоротшої тіні визначимо, провівши (за допомогою нитки *OB*, закріпленої біля основи гномона) частину кола, що перетинає траєкторію кінця тіні гномона у двох точках — *B* і *C* (рис. 3.5). Через середину відрізка *BC* (точку *M*) і основу гномона проведемо пряму. Це і буде полуденна лінія *OM*.

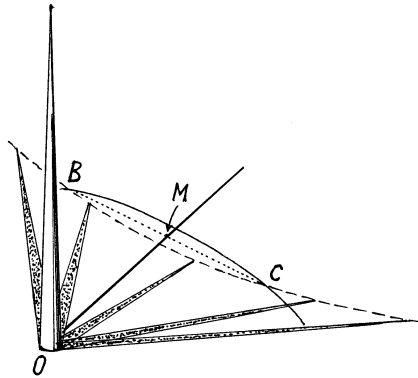


Рис. 3.5. Визначення напрямку полуденної лінії за допомогою гномона

Цікаво, що сама траєкторія кінця тіні є різною залежно від того, в яку пору року проводили спостереження (рис. 3.6). Наприклад, з 22 березня по 22 вересня до основи гномона повернутий угнутий бік траєкторії. У дні рівнодень ця траєкторія є прямою лінією. А від 24 вересня до 20 березня її крива повернута до основи гномона опуклим боком. Це ніяк не впливає на вказаний вище метод побудови полуденної лінії. Для більшої точності можна описати навколо основи гномона кола різних радіусів, які в перетині з траєкторією тіні дадуть відповідно *n* пар точок (*BC, B'C'*,

$B''C''$ і т. д.). Пряма, «найліпше проведена» через середини хорд, що їх з'єднують, та основу гномона, і буде полуденною лінією.

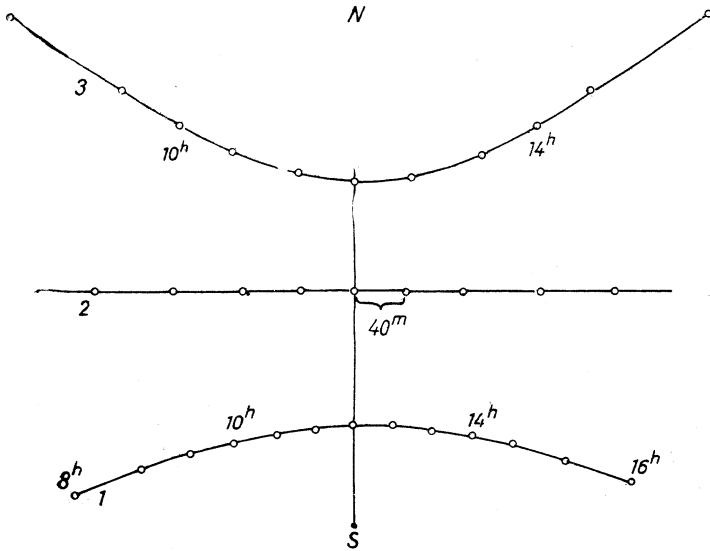


Рис. 3.6. Траєкторії, описані кінцем тіні від гномона: 1—22 червня; 2—23 вересня; 3—22 грудня (тут, щоб тіні були не занадто довгі, висота гномона удвічі менша, ніж у випадках 1 і 2), відмітки часу проставлені через кожні 40 хвилин

Полуденну лінію потрібно якось зафіксувати на майданчику. Від центра гномона до точки M натягуємо шнур, під ним копаємо канавку, куди вкладаємо два ряди цегли в торець так, щоб проміжок між цеглинами точно прямував уздовж полуденної лінії. Якщо майданчик заасфальтовано, то лінію наносимо фарбою.

І. Х. Боярченко рекомендував кожному учневі визначити напрям полуденної лінії у дні рівнодень і сонцестоянь вдома. Як гномон, можна використати олівець, встановивши його (вертикально!) в катушку з-під ниток, чи щось подібне. Гномон ставлять на аркуш паперу, розгорнутий на підвіконні (горизонтальному!) вікна, що виходить на південь. Щоб бути певним, що гномон не змістився, катушку обмальовують олівцем, а папір приколують кнопками. Кінці тіні позначають до і після полудня в довільний час. Потім креслять на папері полуденну лінію, як описано вище. При цьому кожен учень зможе переконатися, як від грудня до червня змінюється згин траєкторії, що її описує кінець тіні.

Визначення кута ϵ . Визначивши напрям полуденної лінії, а отже, і площини небесного меридіана, можна вимірювати висоту Сонця $h_{\text{вк}}$ у верхній кульмінації. Це можна зробити за допомогою квадранта, орієнтованого у згаданій площині (рис. 3.7), найпростішого висотоміра — екліметра (про ці прилади йшла мова у розділі 1). Цю висоту Сонця можна також визначити за довжиною тіні l від гномона висотою H , користуючись очевидним співвідношенням $\text{tg}h_{\text{вк}} = H/l$. Крім того, якщо майданчик заасфальтовано, то значення кута $h_{\text{вк}}$ можна проставити вздовж полуденної лінії.

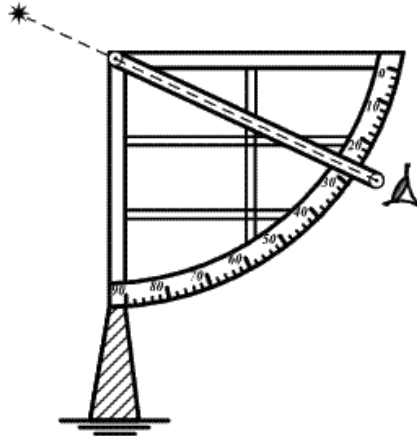


Рис. 3.7. Саморобний квадрант для визначення висоти Сонця у верхній кульмінації

Якщо такі спостереження виконуємо наприкінці червня і грудня, то, поділивши різницю визначених висот на два, отримаємо кут нахилу площини екліптики до площини небесного екватора ($\epsilon = 23,5^\circ$).

Давньогрецькі астрономи з цією метою використовували *скафіс* — півсферу, акуратно видовбану в кам'яній брилі, у центрі якої ставили вертикальний шпичак, а на внутрішній стінці зображали лінії однакових висот. В Александрії такий прилад стояв у центрі міста. Лінії однакових азимутів (проведені знизу вверху) давали змогу вимірювати годину доби. Багаті люди користувалися послугами рабів, єдиним завданням яких було бігати до скафіса і повідомляти свого господаря, «котра година».

3.2. РОЗРАХУНОК І ВСТАНОВЛЕННЯ СОНЯЧНОГО ГОДИННИКА

Поглибленню знань з астрономії сприяє встановлення поблизу школи (на астрономо-географічному майданчику) сонячного годинника. Нагадаємо, що сонячні годинники бувають трьох типів: екваторіальні, горизонтальні та вертикальні (рис. 3.8). У першому випадку циферблат годинника встановлюють паралельно до екватора, а стри-

жень, що відкидає тінь, — паралельно до осі світу. Тут кожній годині на циферблаті відповідає кут 15° .

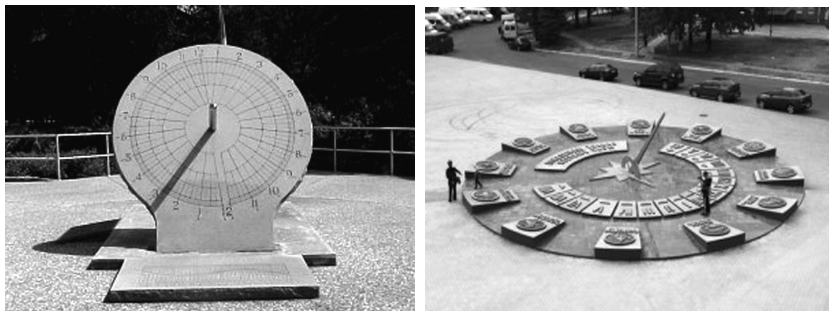


Рис. 3.8. Екваторіальний і горизонтальний сонячні годинники

Екваторіальний годинник просто проградувати, але незручність полягає в тому, що циферблатів треба два, зверху та знизу (для зимової половини року), до того ж поблизу рівнодень Сонце перебуває у площині циферблата, і тінь стрижня важко помітити. У горизонтальному сонячному годиннику кути, що відповідають одній годині, різні. Обчислюють їх за допомогою рівняння

$$\operatorname{tg} \alpha = \sin \varphi \operatorname{tg} t,$$

де α — кут між полуденною лінією і напрямом на числа 13, 14, 15 і т. д., що вказують години; φ — географічна широта місцевості; t — годинний кут Сонця, що дорівнює відповідно 15° , 30° , 45° і т. д. до 120° . Максимальне значення t беремо $8^h = 120^\circ$, оскільки тільки на крайньому півночі України Сонце буває над горизонтом при $t = 8^h$, а на більшості території Сонце при $t = 8^h$ завжди під горизонтом. Так само і вранці мінімальний $t = 16^h$. Для широти $\varphi = 50^\circ$ маємо $\alpha_1 = 11^\circ 36'$, $\alpha_2 = 23^\circ 52'$, $\alpha_3 = 37^\circ 27'$, $\alpha_4 = 53^\circ 00'$, $\alpha_5 = 70^\circ 43'$, $\alpha_6 = 90^\circ$, $\alpha_7 = 109^\circ 17'$, $\alpha_8 = 127^\circ 00'$. Отже, лінії, що відповідають 13 і 14 годинам, проводимо з обох боків від полуденної лінії (дорівнює 12 годинам) на кутовій відстані $11^\circ 36'$, лінії для 14 і 10 годин — на відстані $23^\circ 52'$ і т. д.

Можна звичайно виготовити плоский циферблат годинника, а стрижень чи трикутник з нержавіючої сталі або міді. Однак найпростіше зробити годинник безпосередньо на ґрунті, вирівнявши майданчик розміром 2×3 м. У його південній частині слід встановити залізну трубу так, щоб її проекція відповідала полуденній лінії, а

нахил — широті місця φ . Краще взяти «трикутник» із прямою стороною під кутом φ , другу сторону робимо фігурною, щоб не переплутати, який край тіні вказує час. Циферблат можна засипати битим каменем або цеглою і залити розчином цементу, а годинні лінії намалювати кольоровими. Непогано також виглядає «рослинний» годинник, циферблат його регулярно прополюють, а годинні лінії та власне цифри висіяні різними сортами трав.

Вертикальний сонячний годинник встановлюють на вертикальній стіні, розташованій в напрямі схід—захід. Вибравши точку закріплення стрижня, встановлюємо його під кутом $90^\circ - \varphi$ до стіни так, щоб його проекція на стіну збігалась з напрямом вертикальної лінії. Або ж закріплюємо трикутний гномон, як у горизонтальному годиннику. Годинні лінії проводимо відповідно до формули

$$\operatorname{tg}\beta = \cos\varphi \operatorname{tg}t.$$

Нагадаємо, як отримано наведені тут формули (рис. 3.9). Нехай A і B — відповідно горизонтальна і вертикальна площини, перпендикулярні до площини небесного меридіана; MP — напрям осі світу (тіньового стрижня обох годинників); MO і PO — проекції стрижня на горизонтальну і вертикальну площини (відповідно полуденна лінія і лінія виска). У прямокутному трикутнику PMO кут EMO дорівнює φ — широті місця спостереження: $\sphericalangle EPO = 90^\circ - \varphi$. Нарешті кут OEQ — це годинний кут, а $\sphericalangle OMQ = \alpha$ для горизонтального годинника і $\sphericalangle OPQ = \beta$ для вертикального — кути відхилення тіні. В обох випадках $OQ = OE \operatorname{tg}t$, а також $OE = OM \sin \varphi$, $OE = PO \cos \varphi$ і $OQ = OM \operatorname{tg}\alpha$, $OQ = OP \operatorname{tg}\beta$. Для горизонтального годинника маємо: $OQ = OE \operatorname{tg}t = OM \operatorname{tg}\alpha$, підставимо OE : $OM \sin \varphi \operatorname{tg}t = OM \operatorname{tg}\alpha$, або $\operatorname{tg}\alpha = \sin \varphi \operatorname{tg}t$. Для вертикального: $OQ = OE \operatorname{tg}t = OP \operatorname{tg}\beta$, підставимо OE : $OP \cos \varphi \operatorname{tg}t = OP \operatorname{tg}\beta$, або $\operatorname{tg}\beta = \cos \varphi \operatorname{tg}t$.

Однак тут слід застерегти. Момент, коли тінь від гномона падає вздовж полуденної лінії, — це справжній полудень, тоді центр дис-

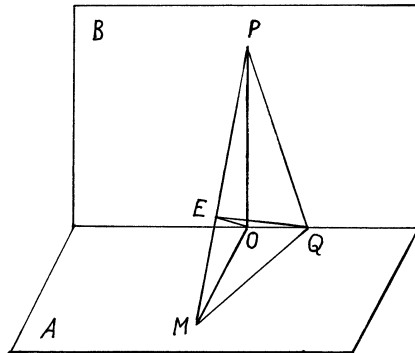


Рис. 3.9. Рисунок, що дає змогу вивести правило розрахунку поділок циферблата сонячних годинників

ка Сонця перебуває у верхній кульмінації, та місцевий час дорівнює 12 год. ($T_{\odot} = 12^h00^m00^s$). Проте, як уже зазначено, справжнє Сонце рухається нерівномірно, тому й справжня сонячна доба упродовж року триває неоднаково (різниця між її тривалістю 23 грудня і 16 вересня становить 51 с!). Тому в астрономії введено поняття середнього екваторіального Сонця, яке рухається рівномірно по небесному екватору і «відлічує» нам середній сонячний час T_{λ} .

Графік рівняння часу (див. рис. 1.15) доцільно зобразити поруч з сонячним годинником, що давало б змогу, знявши з циферблата справжній сонячний час T_{\odot} , перевести його в середній (за формулою $T_{\lambda} = T_{\odot} + \eta$), а, знаючи свою географічну довготу λ , перейти від місцевого середнього сонячного часу до всесвітнього ($T_0 = T_{\lambda} - \lambda$) і нарешті до «звичайного» поясного ($T_{\text{п}} = T_0 + 2^h$) чи літнього ($T_{\text{л}} = T_0 + 3^h$), який показують звичайні годинники.

3.3. НАБЛИЖЕНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ МІСЦЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

У курсі «Фізичної географії» вивчають поняття географічних координат і виконують вправи на визначення їх за допомогою глобуса і карти. Цей матеріал доречно поєднати з практичним заняттям на астрономо-географічному майданчику для того, щоб визначити координати місця спостереження за висотою Сонця в меридіані та моментом його верхньої кульмінації.

Отже, щоб визначити свої географічну широту φ і довготу λ , виносимо на майданчик добре вивірений годинник, який показує поясний $T_{\text{п}}$ (або літній $T_{\text{л}}$) час відповідного годинного поясу N . Фіксуємо показ годинника і довжину тіні гномона в момент, коли вона збігається з напрямом полуденної лінії. Якщо H і l — відповідно висота гномона і довжина його тіні опівдні, то зі співвідношення $\text{tg}h_{\text{вк}} = H/l$ визначаємо висоту Сонця в момент верхньої кульмінації. З формули $\varphi = 90^\circ - h_{\text{вк}} + \delta_{\odot}$ обчислюємо свою широту. Схилення Сонця на день спостереження δ_{\odot} виписуємо з «Астрономічного календаря».

Довготу місця визначаємо за формулою $\lambda = T_{\odot} + \eta - [T_{\text{п}} - (N + 1)^h]$, що є комбінацією записаних у розділі 1 співвідношень для справжнього сонячного T_{\odot} , середнього місцевого T_{λ} і всесвітнього часу T_0 . Рівняння часу звичайно беремо з «Астрономічного календаря» або його наближене значення з рис. 1.15.

3.4. СПОСТЕРЕЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ПЛЯМ

Сонячні плями — найдоступніші для спостережень об'єкти поверхні Сонця. У деякі роки, коли плям багато, найбільші з них або великі групи плям можна побачити (зразу ж після сходу Сонця чи безпосередньо перед його заходом або крізь негусті хмари) навіть неозброєним оком.

Число Вольфа. Стеження за диском Сонця упродовж сотень років дали змогу дійти висновку, що кількість плям на ньому істотно змінюється упродовж кожних 11,1 року (в середньому). Наприклад, у 1969, 1980, 1990–1991, 2000–2001 рр. їх було дуже багато, в інші роки, навпаки, їх буває дуже мало: протягом багатьох тижнів на диску Сонця може не бути жодної плями.

Цю активність Сонця прийнято описувати *числом Вольфа*

$$W = 10g + f,$$

де g — кількість окремих груп плям; $f = \sum f_i$ — загальна кількість плям, які є в цей момент на диску Сонця; f_i — їхня кількість у конкретній i -й групі.

Наприклад, якщо на сонячному диску немає жодної плями, то $W = 0$. Якщо ж на диску є одна пляма, то число Вольфа $W = 11$, бо її враховують двічі: перший раз як окрему пляму, другий — як групу. Найчастіше групою вважають всі плями, що мають спільну півтінь. На підставі спостережень такі обчислення здійснюють на кожний день, після чого, усереднюючи, обчислюють середнє значення W за місяць, а згодом за рік. Звичайно, спостерігач з потужним інструментом побачить найдрібніші плями, котрі залишаться непомітними для маленького телескопа. Тому, якщо Ви бажаєте регулярно спостерігати фотосферу Сонця, треба обчислювати «свої» числа Вольфа, а згодом порівняти їх зі «стандартизованими» числами Вольфа на той самий період, котрі публікуються в астрономічних календарях через рік-два. «Стандартизовані» числа будуть відрізнятися від «Ваших» постійним коефіцієнтом, котрий надалі треба множити на отримані Вами числа, щоб перейти до стандартної системи. Числа Вольфа з року в рік різні (рис. 3.10). Як бачимо, хоча в середньому кількість плям на Сонці змінюється з 11,1-річним періодом, однак проміжки між двома максимумами можуть коливатись в межах від 7,5 до 16 років. Тому передбачити настання конкретного максимуму поки що неможливо.

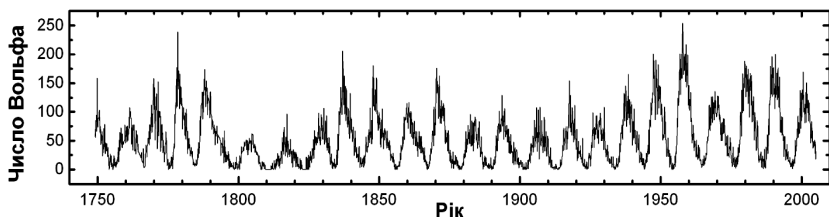


Рис. 3.10. Зміна числа Вольфа за 250 років

Для зручності характеристик того чи іншого циклу введено їхню умовну нумерацію. Черговий цикл розпочинається у мінімумі, щоб не розривати максимум між двома номерами. Першим названо цикл, що розпочався у 1755 р. У січні 2009 року розпочався 24-й цикл.

Циклічність активності Сонця виявляється не тільки у утворенні плям. Поява факелів, протуберанців, та інших активних утворень теж виявляє той самий 11-річний цикл.

Зіставлення числа Вольфа у різних максимумах сонячної активності свідчить про існування вікового циклу — деякої повторюваності найбільших максимумів приблизно через 100 років. Проаналізовано записи в хроніках за останні 2000 років щодо спостереження як полярних сьайв, так і плям, зауважених неозброєним оком. Схоже, що є й 1800-літній цикл сонячної активності.

За останні десятиліття астрономи отримали важливі результати у вивченні Сонця. Зокрема, виявилось, що в його глибинах розповсюджуються своєрідні акустичні хвилі, що призводить до дуже слабких коливань фотосфери із різними періодами, знайдена асиметрія у прояві активності між півкулями Сонця. Проте, таємниць у Сонця ще багато. Чомусь кількість металів у хімічному складі Сонця є меншою, ніж це вимагає наявність згаданих коливань, до кінця не з'ясована причина циклічності його діяльності, поки що неможливо прогнозувати його активність. Навіть досі залишаються не ототожненими тисячі ліній у спектрі нашої зорі!

Відлуння сонячної активності. Уважне вивчення явищ в усій біосфері Землі (усього світу живого) дало змогу дійти висновку, що процеси, які відбуваються на далекому Сонці, і явища на Землі, безперечно, пов'язані.

Наприклад, якщо на Сонці багато плям, там може бути до 10 спалахів за добу. Через 8 хвилин 20 секунд потоки рентгенівських променів стикаються з атомами газів у верхніх шарах земної атмосфери,

внаслідок чого ці атоми іонізуються, тобто з'являються непередбачені електричні заряди. Оскільки ж у верхніх шарах земної атмосфери «дмуть сильні вітри», то рухомі заряди створюють додаткові магнітні поля. Тобто спалах на Сонці призводить до збурення магнітного поля Землі. І це збурення передається, зокрема, на людський організм. А через дві доби з'являється друга хвиля збурень, коли до Землі долітають потоки заряджених частинок, що сформувалися під час спалаху. Внаслідок збурення магнітного поля у деяких людей настає спазм кровоносних судин, підвищується тиск. Зменшення припливу крові до мозку спричинює млявість, сонливість, а, отже, неуважність, сповільнену реакцію робітника на підприємстві чи водія автотранспорту. Тому й істотно зростає кількість травм та аварійних ситуацій.

Як видається, у ритмі з сонячними явищами змінюються деякі функції людського організму. За деякими даними, чим більше число Вольфа, тим меншою є середня концентрація соляної кислоти в шлунку. Тому й не дивно тепер, що спалахи чуми і холери в минулому траплялися саме в роки максимумів сонячної активності (рис. 3.11).

Можливо, в ритмі з тисячолітнім циклом сонячної активності деякою мірою змінюється клімат Землі. Наприклад, сьогодні Сахара — це кам'яниста і піщана пустеля. Але в її печерах знайдені зображення слонів, жираф, страусів, людей, що плавають на човнах. А це значить, що яких-небудь чотири тисячі років тому в Сахарі були повноводні ріки, буяла рослинність, там був різноманітний тваринний світ. Сахара остаточно стала пустелею вже в першому тисячолітті нашої ери.

Цікавою є історія заселення Ісландії та відкриття Америки норманами в IX—X ст. У часи відкриття Ісландії (в 860 р.) клімат цього острова був набагато м'якшим, ніж сьогодні. Пло-

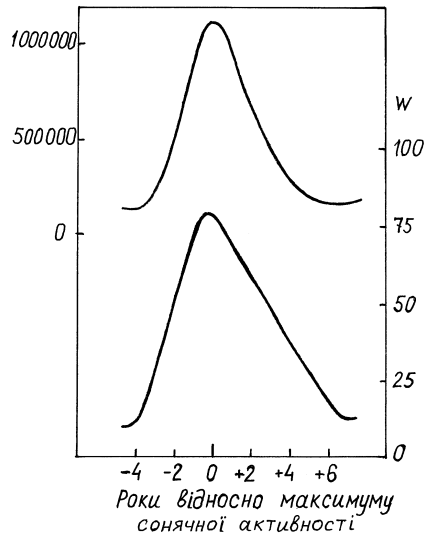


Рис. 3.11. Кількість захворювань на холеру в Росії з 1823 по 1923 р. (верхня крива) і хід чисел Вольфа W за даними А. Л. Чижевського

дючі землі й багаті пасовиська були і в Гренландії, де в IX ст. існувало два селища норвежців з кількістю мешканців до 5000 чоловік. У 999 р. один з норвезьких кораблів унаслідок сильного шторму замість Гренландії опинився біля берегів нової, раніше невідомої землі, яку назвали Вінланд (країна винограду). Так було відкрито Америку, куди через чотири роки на трьох кораблях відправилися 160 поселенців.

Однак у XIV ст. у північній півкулі, зокрема в Європі, кількість опадів різко зросла. Зледеніння Арктики досягло значних розмірів, Гренландію блокували льодовики, і на довгі 200 років зв'язок з нею перервався. А коли нарешті до неї вдалося прорватися через льоди, там не знайдено жодної людини.

Звичайно, тривалі цикли кліматичних змін відомі дуже непевно. Останнім часом йдеться про *глобальне потепління*. Дійсно, середні температури загалом на нашій планеті трохи підвищились (майже на 1° за останні сто років). Але надійні дані планетарного масштабу метеорологи мають теж десь за якихось сто років, коли мережа метеостанцій стала достатньо густою. Тому не виключено, що потепління зміниться похолоданням.

Зазначимо, що природні процеси можуть значно посилюватися діяльністю людини. Та ж Сахара стала пустелею не тільки внаслідок кліматичних змін. До цього, безперечно, причетні і незліченні отари худоби, і багатівкове вирубування дерев... До вулканічних вивержень сьогодні додаються викиди вуглекислого газу «штучного походження» — мільярди тонн щороку. А саме його молекули, поглинаючи і перевипромінюючи (половину — назад до Землі) інфрачервоне випромінювання планети, разом з молекулами водяної пари підтримують середню температуру планети на рівні +15°C. Без цього ефекту температура була б на 40°C меншою! Згадане глобальне потепління, як вважають, спричинене саме збільшенням вмісту вуглекислого газу в земній атмосфері (за останні 50 років на 20 %).

Отже, спостерігаючи сонячні плями чи милуючись красою усього живого на Землі, мусимо пам'ятати, що вся ця навколишня краса дуже делікатна, крихка. Її дуже легко зруйнувати і ще легше занепасти безповоротно. Бережімо її, цю нашу голубу планету!

Спостереження сонячних плям. Увага! *Дивитися на Сонце через окуляр інструмента неприпустимо!*

Темний фільтр між окуляром та оком при не дуже малому об'єктиві ще небезпечніший, бо може луснути від нагріву зразу після наведення телескопа на Сонце.

Найліпше спроектувати зображення Сонця на екран (рис. 3.12). Це дає змогу оглядати зображення одночасно багатьом учасникам.

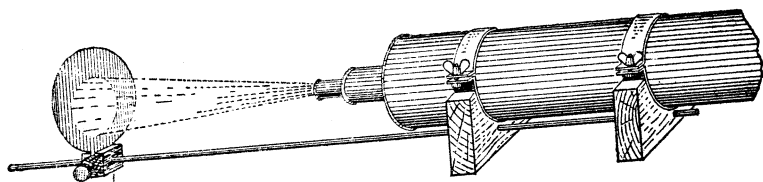


Рис. 3.12. Спостереження Сонця за допомогою екрана

Крім цього, під час спостережень за допомогою рефрактора з об'єктивом діаметром більше 7 сантиметрів, цей об'єктив слід задіафрагмувати до відносного отвору $1/20$ – $1/40$, бо від сильного розігріву лінзи окуляра перегріються і потріскають. Отвір діафрагми доведеться робити ідеально круглим, інакше зображення буде спотворене.

Оскільки спостерігаючи сонячні плями, потрібно оглядати увесь диск Сонця, то слід використати окуляр, з яким телескоп дає збільшення до 40–60 разів.

Звичайно, найліпше проводити спостереження всередині павільйону, в якому отвір люка закривається за допомогою захисних штор. Якщо ж телескоп встановлено на відкритому місці, то бажано користуватися захисним екраном розміром хоча б 70×70 см, у центральній частині якого є отвір, що дорівнює діаметру труби телескопа. Слід заздалегідь приготувати аркуші чистого паперу, на яких намальовано коло, наприклад діаметром 10 см.

«Розфокусуванням» окуляра легко змінюється масштаб збільшення на екрані, і це зображення можна зробити великим, але при задіафрагмованому об'єктиві воно буде слабким і малоконтрастним. У цьому випадку об'єктив не діафрагмують, але доведеться обмежитися короткими, не більше хвилини, сеансами спостережень, щоб не перегрівся окуляр.

Основною метою навчальних спостережень сонячних плям є визначення числа Вольфа. Для цього на заготовленому шаблоні замальовують усі плями, нумерують кожну групу, починаючи із західного краю (правого, як ми бачимо на небі незброєним оком). На екрані ж зображення дзеркальне, і тут можливі варіанти. Так, якщо в нас звичайний рефрактор, що перевертає зображення, то на екрані «вверх»

буде вгорі, а «ліве» — праворуч. Якщо ж у нас звичайна зорова труба, що дає пряме зображення, тоді все буде навпаки.

Ці ж спостереження дають змогу виявити факт обертання Сонця навколо своєї осі. Для цього потрібно спостереження у тому ж обсязі повторити через два-три дні. Крім того, вже наступного дня та ж група плям буде виглядати інакше. Слідкувати за змінами у вигляді сонячних плям дуже цікаво. Це — одне із найбільш захоплюючих занять астронома-аматора. При таких спостереженнях дуже зручною буде гарна цифрова камера, якою зніматимемо просто з екрана. Втім, і за наявності камери, варто ще зарисовувати плями та їх групи власноручно. З часом аматор матиме документальний «літопис» подій на Сонці.

Важливою характеристикою активності Сонця є загальна площа всіх плям (у тому числі їхніх напівтіней). Для обчислення площі кожної плями її порівнюють зі шкалою сонячних плям (рис. 3.13).

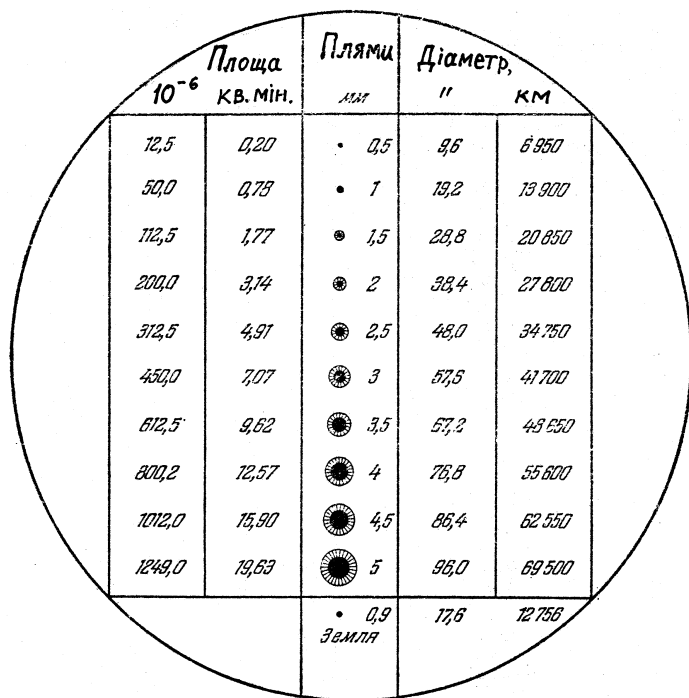


Рис. 3.13. Шкала сонячних плям (у першому стовпчику — площа плями у мільйонних частках видимої площі Сонця)

Нагадаємо, що треба не забувати відмічати дату і час спостережень.

Якщо ж хочемо ще визначити координати плям, то слід відмітити напрям зсування (якщо телескоп нерухомий) окремої плями, це й буде напрямом добової паралелі. За даними «Астрономічного календаря» це дасть змогу визначити напрям осі обертання Сонця і положення його екватора. Звичайно координати плям визначають ті, хто веде регулярну «службу Сонця» (на багатьох астрономічних обсерваторіях). Зазначимо, що з цією метою було введено *геліографічну довготу* λ і *геліографічну широту* β . Широту β відлічують від сонячного екватора до полюсів (додатна до півночі), довготу — від умовного *нульового меридіана Керрінгтона*, який 1 січня 1854 р. о 0 год. всесвітнього часу пройшов через центр сонячного диска й обертається з кутовою швидкістю 14,1844 град./добу. Вісь обертання Сонця нахилена до площини земної орбіти під кутом $82^{\circ}45'$, тобто може відхилитися на $7^{\circ}15'$ від напрямку на північ. Тому в різні пори року розташування сонячного екватора і полюсів на диску Сонця різне. Порядок визначення координат плям і допоміжні таблиці, потрібні для цього, є в «Астрономічних календарях», у розділі «Фізичні координати Сонця». Тут ми наводимо орієнтацію Сонця відносно Землі впродовж року (рис. 3.14).

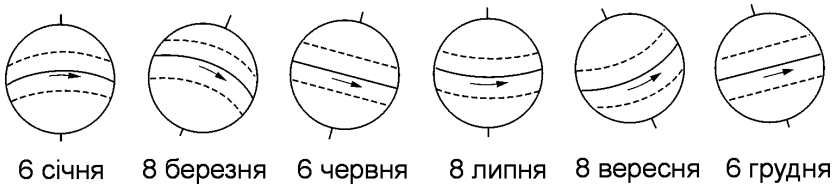


Рис. 3.14. Орієнтація Сонця відносно Землі впродовж року

3.5. ДЕЩО ПРО ОБСТАВИНИ СОНЯЧНИХ ЗАТЕМНЕНЬ

Сонячні затемнення бувають тоді, коли Місяць під час руху навколо Землі займає положення між Землею і Сонцем, так що тінь від нього падає на Землю (рис. 3.15). Оскільки Місяць *рухається*, то й тінь його пересувається по земній поверхні. Лінійна швидкість Місяця на орбіті близько 1 км/с, Земля обертається в тому ж напрямку, але лінійна швидкість навіть на екваторі менше 0,5 км/с, тому місячна тінь випереджає і пересувається приблизно із заходу на схід, утворюючи смугу повного сонячного затемнення довжиною декілька

тисяч кілометрів. Діаметр конуса місячної тіні на відстані Землі не перевищує 270 км, звичайно значно менше. Приблизно таку ж малу ширину має смуга повного затемнення на низьких широтах Землі. Але у полярних регіонах завдяки косому падінню тіні ширина смуги в окремих випадках сягає 1000 км (як це буде, наприклад, 30 березня 2033 р. в Арктиці). Обабіч цієї смуги у широкій зоні місячної півтіні затемнення простежується як часткове. Тінь Місяця лягає на Землю на заході під час сходу Сонця і зникає через декілька годин на сході під час заходу Сонця. Максимальна тривалість повного затемнення, коли Місяць найближче до Землі (у перигеї), а смуга йде в екваторіальній зоні, де тінь рухається повільніше відносно Землі, досягає 7 хвилин. У тих випадках, коли Місяць далі від Землі (в апогеї) він не може повністю «сховати» за собою Сонце, і ми бачимо яскраве кільце навкруг темного диска Місяця. Видовище теж дуже ефектне.

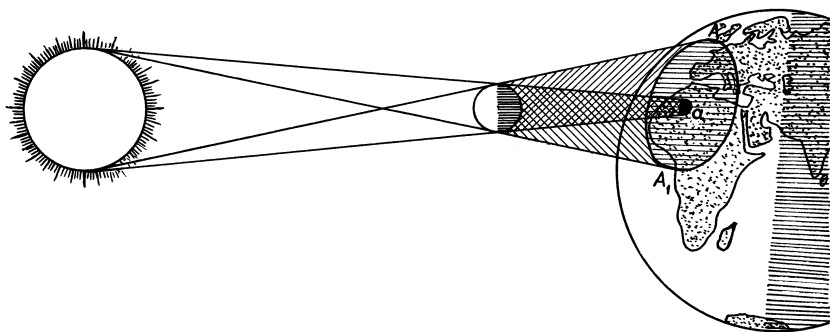


Рис. 3.15. Схема сонячного затемнення: a — зона тіні, A_1 — зона півтіні

Спостерігач, який перебуває у смугі повного затемнення, фіксує *перший контакт* — коли диск Місяці дотикається до диска Сонця, *другий контакт* — коли цей же край диска Місяця досягає протилежного краю диска Сонця, і розпочинається повне сонячне затемнення, *третій контакт* — коли протилежний (західний) край диска Місяця відривається від західного краю диска Сонця, повне сонячне затемнення закінчується, і край сонячного диска знову з'являється з-за диска Місяця. *Четвертий контакт* настає в момент закінчення часткового затемнення, коли західний край диска Місяця відривається від східного краю диска Сонця (рис. 3.16). Між другим і третім контактом можна спостерігати зовнішні шари Сонця, котрі набагато більші за розмірами, ніж фотосфера. Це — *сонячна корона* — ні з чим не зрів-

няне ніжне сяйво навкруг темного диска Місяця. Нічого спільного із справжньою короною не має ореол, котрий ми бачимо, якщо закриємо сліпучий диск Сонця якимось непрозорим предметом. За таких умов ми продовжуємо бачити розсіяне земною атмосферою світло, що надходить від фотосфери Сонця. Тільки за межами земної атмосфери, на космічному кораблі, можна так влаштувати «штучне затемнення». А для спостерігача на поверхні Землі треба, щоб якийсь предмет *за межами атмосфери* кинув тінь на неї, причому велику, щоб небо потемніло, і тоді слабке сяяння корони буде добре видно. Саме це час від часу й робить Місяць. Коли ж Місяць не повністю ховає за собою Сонце, і ми бачимо кільце фотосфери, то таке затемнення називається *кільцеподібним*.

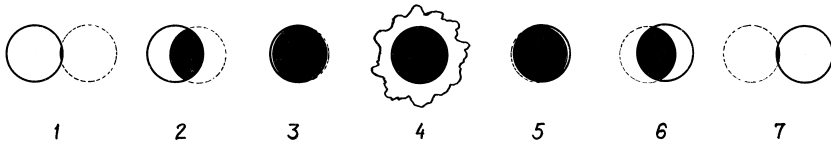


Рис. 3.16. Фази сонячного затемнення (Місяць рухається справа наліво): 1 — після першого контакту; 2, 6 — часткові фази; 3 — перед другим контактом; 4 — повне сонячне затемнення; 5 — після третього контакту; 7 — перед четвертим контактом

Згадане положення Місяця повторюється через кожні 29,53 доби (фаза нового Місяця). Однак затемнення трапляються значно рідше. Це тому, що Місяць обертається навколо Землі не в площині екліптики, а під кутом $i \approx 5^\circ$ до неї. Здійснюючи оберт навколо Землі, він двічі перетинає площину екліптики в точках, що називаються *вузлами* місячної орбіти. У висхідному вузлі (позначений знаком дракона, що збирається проковтнути Сонце, Ω) Місяць рухається до Північного полюса світу, у низхідному (знак ϑ) — до Південного. Особливість руху Місяця та, що він увесь час «збивається зі свого шляху»: кожний наступний виток він робить «серед інших зір». Тому на карту зоряного неба нанесено екліптику, однак, якби нанести на цю карту траєкторію руху Місяця, то вона була б придатною лише на один місяць (календарний). Про це йтиметься в наступному параграфі. Зараз для нас важливо, що затемнення Сонця трапляється лише тоді, коли в момент нового Місяця він перебуває поблизу екліптики, наприклад, проходить через один з вузлів своєї орбіти (рис. 3.17). В інших випадках його тінь падає вище або нижче Землі.

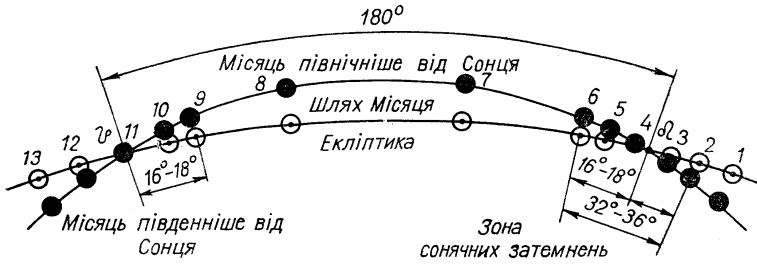


Рис. 3.17. Положення Місяця і Сонця у різні нові місяці: затемнення Сонця можливі в положенні 2–6 і 9–12.

Згадане «блукання» Місяця серед зір спричинене тим, що площина місячної орбіти повільно повертається назустріч рухові Місяця, так що конкретно взятий вузол за рік зсувається на $19,3^\circ$ назустріч рухові Місяця, а, отже, і назустріч Сонцю. Проміжок часу, за який центр диска Сонця проходить через один і той же вузол, називають *драконічним роком*. Він триває 346,62 доби.

З рис. 3.17 бачимо, що поблизу обох вузлів місячної орбіти є *зони сонячних затемнень*, причому кожна така зона має протяжність $32\text{--}36^\circ$. Сонце зміщується по екліптиці до сходу на 1° за добу. Фаза нового місяця повторюється через кожні 29,53 доби. Отже, як тільки Сонце наблизиться до якогось вузла місячної орбіти, то затемнення Сонця *відбудеться обов'язково*. Якщо ж воно трапиться відразу після входження Сонця в зону затемнень, то затемнення часткове (повне затемнення настає при відстані Сонця від вузла не більше $11,5^\circ$), тоді воно повториться при наступному новому Місяці (між цими двома частковими затемненнями Сонця буде повне затемнення Місяця).

У кожній зоні затемнень може не трапитися місячного затемнення, але обов'язково буде сонячне. Тому найменша кількість затемнень у році — два сонячні, найбільша — сім, причому можливі такі варіанти:

1) СМС — СМС — С або С — СМС — СМС, було у 1285, 1805 і 1935 рр.;

2) МС — СМС — СМ, трапилося в 1917 і 1982 р.

Ось схема першого варіанта. На початку січня Сонце входить у зону затемнень, і при фазі нового місяця настає часткове сонячне затемнення. Через два тижні, у повню, є повне місячне затемнення, а ще через два тижні (15 діб) — знову часткове сонячне. Через 177 діб, як тільки Сонце опиниться поблизу протилежного вузла, знову відбу-

дуться ті ж явища. Оскільки до кінця грудня Сонце знову наблизиться до зони затемнень, то при черговому новому місяці (а 12 місяців — це 354 доби!) відбувається п'ять часткове затемнення Сонця.

У середньому в будь-якій місцевості Землі повне сонячне затемнення трапляється один раз за 300 років. Але це в середньому. Так, на території, де тепер розташована Одеса, за період з 1401 по 2500 р. (1100 років) нараховується 2 повних (26 червня 1424 р. і 22 липня 2381 р.) і 4 кільцеподібних (1 жовтня 1502 р., 5 вересня 1793 р., 10 лютого 2195 р. і 5 листопада 2431 р.) сонячних затемнень. З іншого боку, на узбережжі Атлантичного океану, у 200 км на південь від Луанди (Ангола) 21 червня 2001 року спостерігалось повне сонячне затемнення, а наступне відбулося 4 грудня 2002 р., всього через півтора роки! На території України найближчі кільцеподібні затемнення спостерігатимуться 1 червня 2030 р. і 11 червня 2048 р., а повне буде аж 20 квітня 2061 р., та й те лише на крайньому сході. Смуга повної фази пройде від Луганська (де повне затемнення спостерігатиметься відразу ж після сходу Сонця) спочатку на схід, потім на території Росії зверне на північний схід і північ, далі по Уралу вийде на Північний Льодовитий океан.

Настання затемнень залежить від трьох періодів: проміжку часу $S = 29,5306$ доби, протягом якого Місяць опиниться знову між Землею і Сонцем (це — синодичний період обертання Місяця); проміжку часу $S_{\odot} = 27,2122$ доби, за який Місяць повертається до того ж вузла своєї орбіти (драконічний місяць); проміжку часу $T_{\odot} = 346,6200$ доби, за який Сонце, рухаючись по екліптиці, повертається до того ж вузла місячної орбіти (драконічний рік).

Можна виявити деяку кількість днів, у яку з достатньою точністю вкладеться кожен із згаданих тут періодів. Це означатиме, що через цей проміжок часу новий місяць (чи повня) настане на тій же відстані Сонця від вузла місячної орбіти. Отже, повториться таке ж затемнення, що й у попередньому циклі.

Таких циклів є декілька. Найвідоміший з них *сарос* (від єгип. — повторення). Сарос ґрунтується на співвідношенні $223S = 242S_{\odot} = 19T_{\odot}$.

Отже, через кожні 6585,3 доби = 18 років 11,3 доби (або 10,3 доби, якщо у цьому проміжку часу було п'ять високосних років) затемнення повторюються. Проте умови цих затемнень уже будуть іншими, бо за 0,3 доби (близько 8 годин) Земля повернеться майже на 120° , а затемнення настане майже на 8 годин пізніше. Крім того, змішується смуга затемнення в напрямі до Північного полюса Землі, якщо затемнення відбувається поблизу низхідного вузла, і навпаки (рис. 3.18).

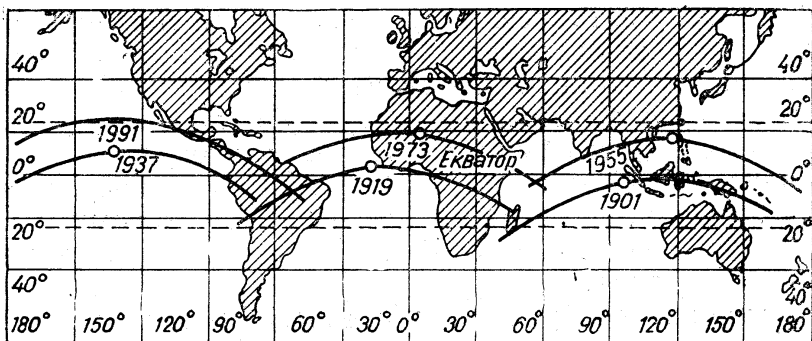


Рис. 3.18. Смуги шести повних сонячних затемнень, розділених проміжками часу в один сарос

Протягом кожного саросу (тобто за 18,03 року) відбувається 70–71 затемнення, з них 42–43 сонячних і 28 місячних. Тривалість дії цього циклу для конкретного затемнення близько 1250 років. Наприклад, часткове сонячне затемнення відбулося 23 червня 727 р. у південній півкулі. Ритмічно повторюючись через кожні 18,03 року, воно простежувалося останній раз 22 липня 1971 року у Магаданській області.

На рис. 3.19 показано різні випадки перебігу сонячного затемнення. Якщо конус місячної тіні проходить повз земної поверхні (а), то затемнення *часткове*. Якщо конус тіні (або принаймні вісь цього конуса) перетинає земну поверхню, то можливі три варіанти: 1) конус тіні перетинає Землю, затемнення повне (б); 2) вісь конуса перетинає Землю, але сам конус «не дістає» до Землі, затемнення кільцеподібне (в); 3) завдяки тому, що кривина опуклої Землі більша за кривину місячної орбіти, інколи буває так, що в одних місцевостях затемнення повне, в інших — кільцеподібне. Такі затемнення мають назву *гібридних* (г).

Моменти затемнень тепер обчислюють завчасно з точністю до однієї секунди. У фундаментальній праці австрійського астронома Теодора Оппольцера (1841–1886) «Канон затемнень» (1887 р.) наведено дані про затемнення Сонця і Місяця з 1208 р. до н. е. до 2163 р. н. е. — усього близько 8000 сонячних і 5000 місячних затемнень. У наш час докладну інформацію про минулі та майбутні затемнення готує група під керівництвом Фреда Еспенака (NASA). Наберіть в Інтернеті адресу eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html і Ви матимете інформацію про сонячні і місячні затемнення за 5000 років, аж до 3000 р.

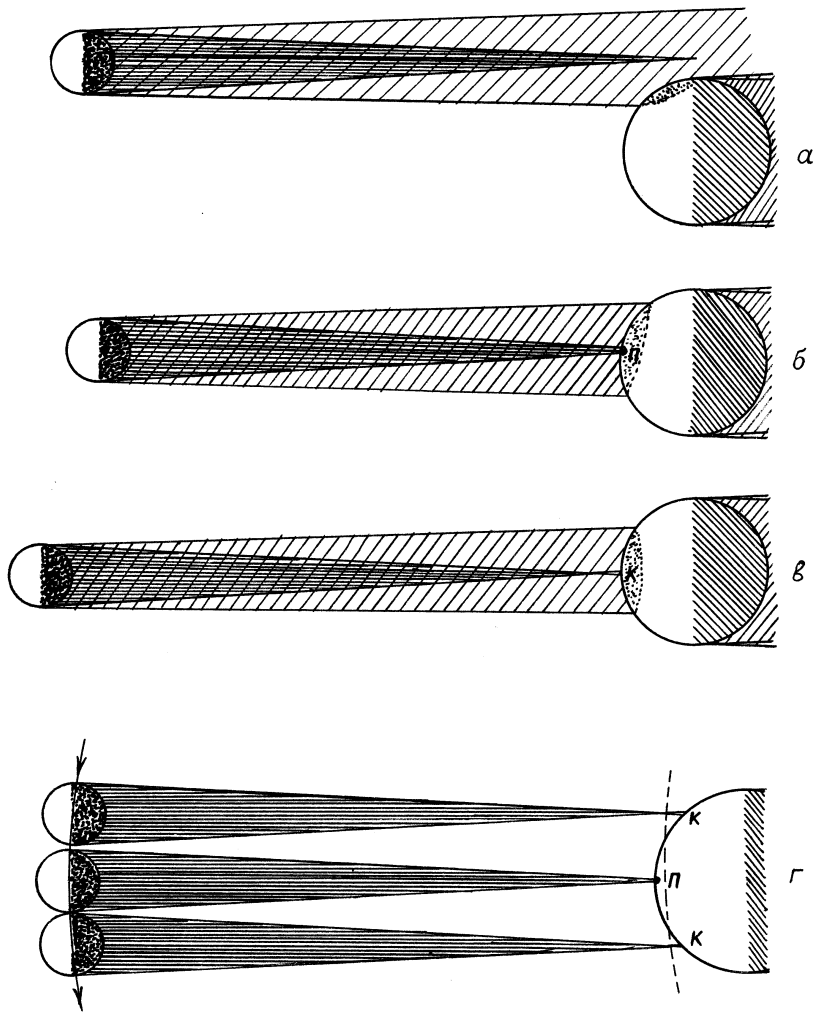


Рис. 3.19. Види сонячних затемнень

Смуги найближчих повних сонячних затемнень показані на рис. 3.20. Інформацію про ці явища наведено в табл. 6-Б Додатка.

Повне сонячне затемнення — рідкісне і чудове явище. У наш час є можливість не чекати, скажімо, 2061 року, а при великому бажанні прийти у смугу повного затемнення.

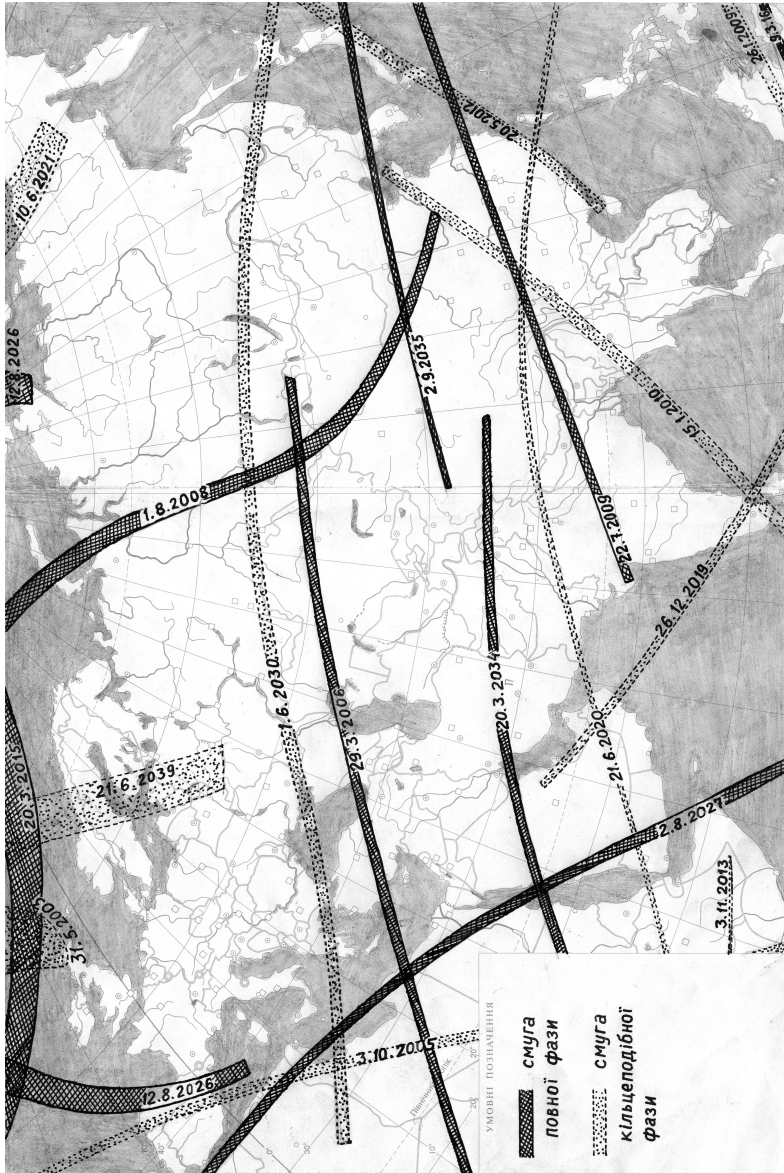


Рис. 3.20. Смути сонячних затемнень у 2001—2040 рр. на території Євразії

4. МІСЯЦЬ І ШТУЧНІ СУПУТНИКИ ЗЕМЛІ

Місяць — друге після Сонця яскраве світило і найближче до Землі небесне тіло, природний супутник Землі. Він обертається навколо нашої планети із швидкістю близько 1 км/с. Радіус Місяця дорівнює 1737 км (трохи більше чверті земного), маса — $7,3 \cdot 10^{22}$ кг (1/81 маси Землі), середня густина — $3,33$ г/см³, нахил орбіти до площини екліптики — $5,1^\circ$, сила тяжіння на поверхні приблизно в 6 разів менша, ніж на Землі, середня відстань від центра Землі — $384,4 \cdot 10^3$ км, ексцентриситет орбіти — 0,0549. Внаслідок великого ексцентриситету відстань Місяця від Землі змінюється від 356400 км (в перигеї) до 406700 км (в апогеї). Видимий кутовий діаметр Місяця в середньому складає $31'$, візуальна зоряна величина — $-12,7^m$.

Видимий рух Місяця на тлі зір є результатом дійсного руху Місяця навколо Землі. Місяць переміщується серед зір завжди в один і той самий бік — із заходу на схід із середньої кутовою швидкістю $13,2^\circ$ за добу (рис. 4.1). Такий рух зветься прямим. Крім того, Місяць, як і інші світила, бере участь у добовому русі із сходу на захід. Але при цьому він помітно «відстає» від зір. Якщо поблизу Місяця видно яскраві зорі, то вже через 2–3 години можна помітити це «відставання» до сходу.

Як відомо, Місяць — непрозоре і не розпечене небесне тіло, він світиться відбитим сонячним світлом. Його зовнішній вигляд залежить від того, як земний спостерігач бачить освітлену Сонцем півкулю Місяця. Тому видимий рух Місяця супроводжується неперервною зміною його зовнішнього вигляду, який характеризується *фазою Місяця*. Фазу Місяця, як і інших кулястих небесних тіл, визначають як відношення найбільшої ширини його освітленої частини d до діаметра диска D (рис. 4.2): $\Phi = d/D$. Отже, у першій і третій чверті $\Phi = 0,5$, у повні $\Phi = 1$. Кут ψ між напрямком від Сонця до Місяця і від Місяця до Землі, зветься *фазовим кутом*.

Лінію на диску Місяця, яка відокремлює його освітлену частину від неосвітленої, називають *термінатором* (від лат. *termino* — обмежую). У першій і третій чверті термінатор — це пряма лінія, що ділить диск Місяця навпіл зверху вниз, тобто від півночі до півдня (орієнтовно від Північного полюса світу до Південного). Цей момент зручний для визначення проміжку часу між двома однаковими фазами.

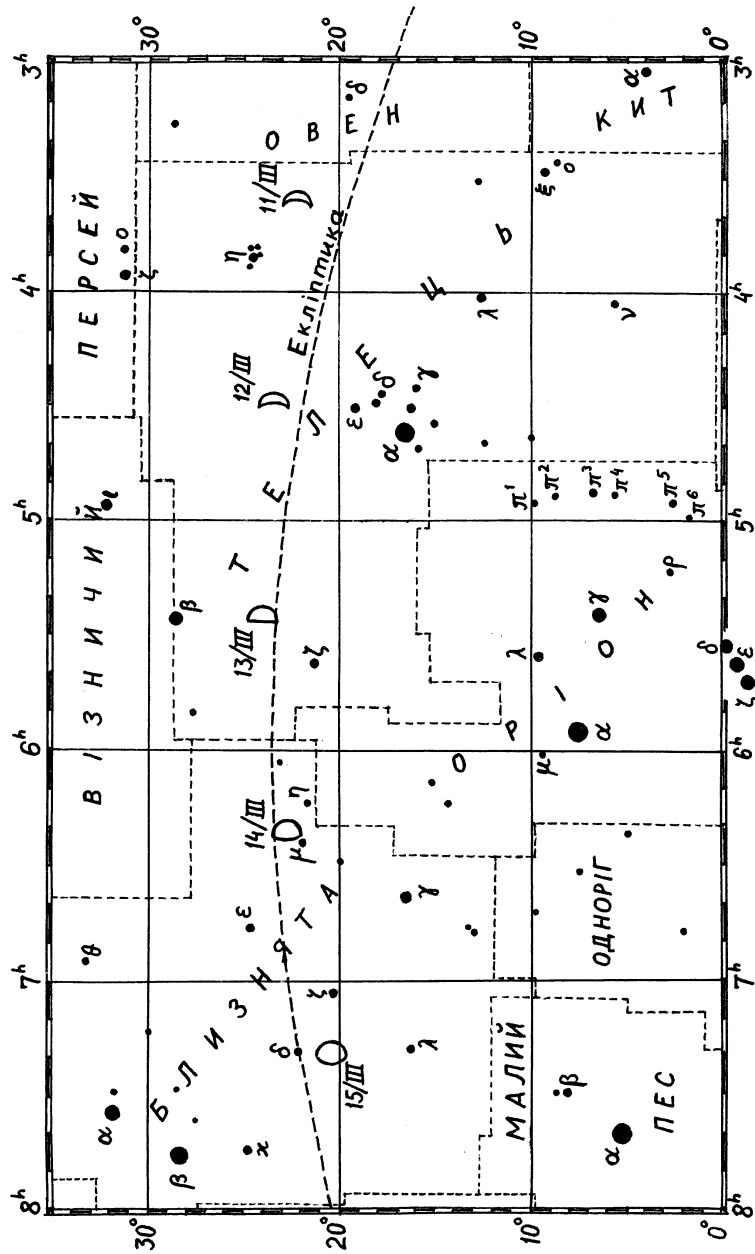


Рис. 4.1. Положення Місяця серед зір на початок доби 11–15 березня 2011 року

Розрізняють чотири основні фази Місяця, котрі поступово переходять одна в одну у наступній послідовності: *новий місяць, перша чверть, повний місяць* (повня), *остання чверть* (рис. 4.3).

Новий місяць — це фаза, коли Місяць проходить між Сонцем і Землею, фаза 0,0, фазовий кут $\psi = 180^\circ$, до Землі повернутий темний бік Місяця, і його на небі не видно. Через дві доби (дуже рідко наступної доби, а інколи тільки на третю добу) Місяць вже можна спостерігати у вигляді вузького серпа в західній частині неба незабаром після заходу Сонця. Цю першу появу Місяця ввечері давні греки назвали *неоменією*, а в нас він зветься «молдик».

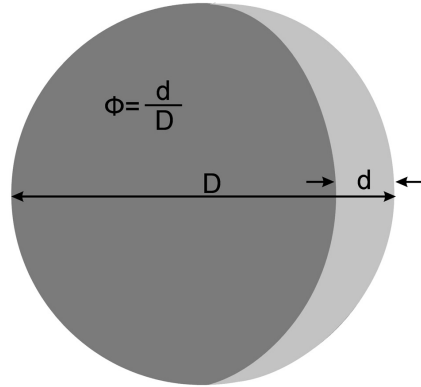


Рис. 4.2. Визначення фази Місяця

Місячний серп обернений опуклістю до Сонця, термінатор поступово пересувається на схід, серп розширюється і приблизно через 7 діб приймає форму півкруга. Настає фаза, що зветься першою чвертю (фаза 0,5). Фазовий кут $\psi = 90^\circ$, і до Землі обернена половина освітленої і половина неосвітленої півкуль Місяця. Місяць видний у першій половині ночі, а потім заходить під горизонт.

З кожним днем із Землі можна спостерігати все більшу частину освітленої півкулі Місяця, і приблизно через 7 діб після першої чверті настає повня (фаза 1,0), коли Місяць має вигляд повного круга. В цей час $\psi = 0^\circ$, і до Землі обернена вся освітлена півкуля Місяця. Повний Місяць можна спостерігати на небі у напрямку, протилежному напрямку на Сонце, тому повний Місяць перебуває на небі всю ніч: сходить він приблизно під час заходу Сонця, а заходить — біля моменту його сходу.

Після повні все відбувається симетрично: термінатор з'являється із західного боку і поступово зміщується на схід, зменшуючи видиму частину освітленої півкулі. Приблизно через 7 діб Місяць знову приймає вигляд півкруга. Настає остання чверть. В цей час $\psi = 90^\circ$, і до Землі знову обернена половина освітленої і половина неосвітленої півкуль Місяця. Але тепер Місяць можна спостерігати у другій половині ночі аж до сходу Сонця.

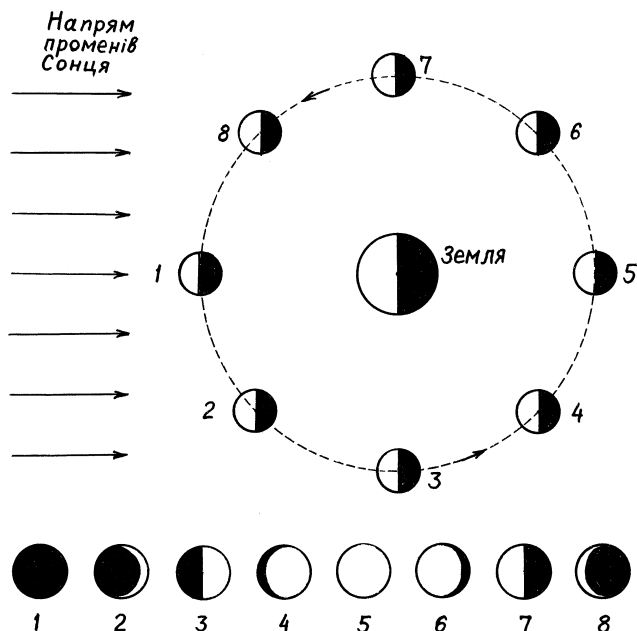


Рис. 4.3. Фази Місяця

Поступово ущерблення місячного диска збільшується, Місяць знову приймає вигляд вузького серпа, і його можна спостерігати на сході незадовго до сходу Сонця. Приблизно через 7 діб після останньої чверті знову настає фаза нового Місяця. Проміжок часу між однаковими фазами, скажімо від нового до наступного нового Місяця, зветься *синодичним місяцем*. Його середня тривалість складає 29,53 доби.

Зауважимо, що для спостерігача, який знаходиться на поверхні Місяця, Земля також має фази. Вони доповнюють місячні фази до повного диска (рис. 4.4). Цим пояснюється поява так званого попельястого світла Місяця. Коли Місяць виглядає вузьким серпом, можна побачити решту місячного диска, яка залита блідо-сірим світлом. Це — відбите світло Землі, котра з Місяця у цей час виглядає майже повністю освітленою.

Отже, спостереження Місяця можна виконувати багатопланово: досліджувати особливості його руху серед зір і визначати періодичність цього руху, визначати «вік» Місяця, тобто його фази, вивчати окремі

деталі його поверхні (моря, кратери тощо) за допомогою невеликого телескопа, визначати висоту місячних гір, а також шукати та реєструвати короточасні явища, які епізодично з'являються на його поверхні та звичайно тривають там декілька (до 15) хвилин, інколи довше.

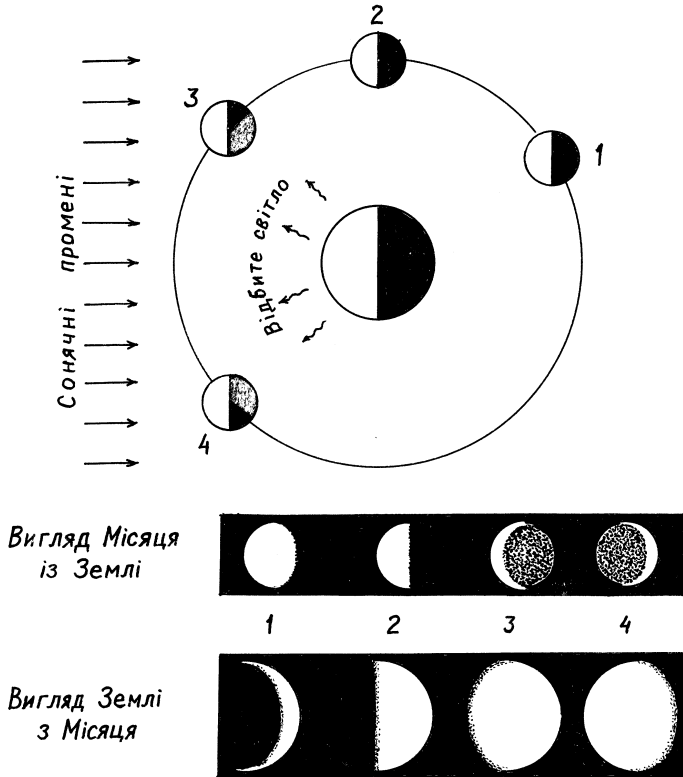


Рис. 4.4. Фази Землі з поверхні Місяця

4.1. РУХ МІСЯЦЯ СЕРЕД ЗІР

Ми наводимо тут вказівки для проведення нескладних спостережень, що наочно демонструють особливості руху Місяця.

1. З метою вивчення його шляху серед зір і кутової швидкості цього руху замальовують видиме положення Місяця на небі в деякий

(найліпше в один і той же) момент часу, наприклад, о 20 годині упродовж декількох вечорів. За допомогою найпростішого кутомірного приладу (див. рис. 1.21) вимірюють і записують у журналі кутові відстані центра диска Місяця від декількох яскравих зір, розташованих поблизу його шляху. Після кількох циклів спостережень виявимо, що *Місяць пересувається серед зір із заходу на схід у середньому на 13,2° за добу*, тобто: *за годину — приблизно на величину свого діаметра*.

Детальніші спостереження дають змогу дійти висновку, що насправді ця кутова швидкість змінюється в межах від 11 до 15° за добу.

Можна переконатися, що Місяць рухається по еліптичній орбіті (рис. 4.5), бо саме тоді, коли він перебуває поблизу перигею своєї орбіти, його кутова швидкість є найбільшою, і навпаки. Тому під час руху Місяця з'являються «нерівності» (так назвали відхилення від рівномірного руху ще давньогрецькі астрономи). Одне з них — відхилення від рівномірного руху, зумовлене положенням лише перигею і яке відлічують від нього («перша нерівність»), може досягати $\pm 6^{\circ}17'$. Друге відхилення, що його виявив Птолемей пізніше, II ст. н. е., назване *евекцією* (тобто відхилення), враховує періодичну зміну форми місячної орбіти під впливом притягання з боку Сонця: еліпс орбіти Місяця видовжується або навпаки, наближається до кола залежно від того, спрямована *лінія апсид* (лінія *АП*) до Сонця чи перпендикулярно до нього. Ексцентриситет при цьому змінюється від 0,072 до 0,044. Цей ефект, що досягає значення $\pm 1^{\circ}16'$, залежить як від відстані між Місяцем і перигеєм його орбіти, так і від кута між напрямками з Землі на Місяць і на Сонце.

Отже, загалом Місяць може відійти вперед (або відстати) порівняно з середнім часом, обчисленим за формулою рівномірного руху $\Omega = 13,3^{\circ}t$, на $\pm 7^{\circ}40'$ (у квадратурах, тобто у першій і третій чверті) і на кут $\pm 5^{\circ}$ у так званих сизигіях (від гр. $\sigma\zeta\upsilon\gamma\iota\alpha$ — спряження, тобто, у ново-місяці або в повню).

Тому другий (після визначення середньої кутової швидкості руху Місяця серед зір) етап навчальних спостережень передбачає з'ясування нерівномірності руху Місяця. Деякою мірою це можна виявити при фіксації моментів його верхніх кульмінацій. Знаючи середнє значення швидкості руху Місяця ($13,3^{\circ}$ за добу), обчислюємо, що кожного наступного вечора Місяць повинен би перетинати небесний меридіан на 52 хвилини пізніше, ніж попереднього. Тим часом легко переконатися («Астрономічний календар» це підтверджує), що запізнення коливається в межах від 40 до 68 хвилин.

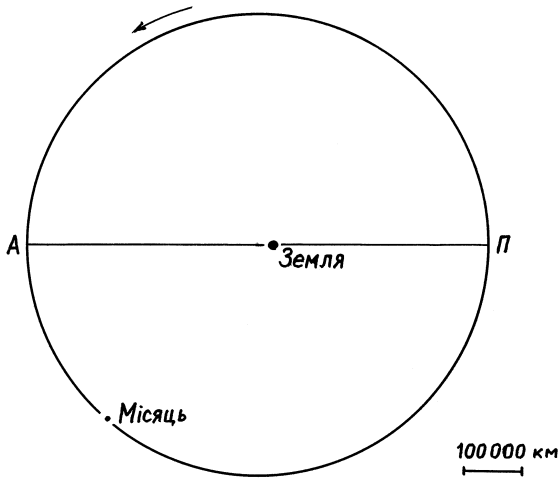


Рис. 4.5. Еліпс як орбіта Місяця, у точках *П* (перигей) і *А* (апогей) Місяць буває відповідно найближче і найдалше від Землі; лінія *АП* називається лінією апсид

Ще один цикл спостережень — реєстрація моментів сходу (заходу) Місяця. Оскільки ще явище запізнюється з істотним відхиленням від згаданих 52 хвилин, то моменти сходу і заходу світил суттєво залежать (це можна демонструвати на моделі небесної сфери) від їхнього схилення δ . Отже, якщо схилення Місяця близьке до $\delta_{\text{с}} \approx +23^\circ$ чи -23° , то наступного дня Місяць справді зійде з запізненням десь на 50 хвилин порівняно з попереднім днем. Якщо ж його схилення близьке до 0° і зростає (Місяць рухається в бік Північного полюса світу), то наступної доби Місяць може сходити лише на 11 хвилин пізніше, ніж попередньої.

І навпаки, якщо при $\delta_{\text{с}} \approx 0^\circ$ Місяць рухається в бік Південного полюса світу (його схилення зменшується), то наступної доби він може зійти навіть на 93 хвилини пізніше, ніж попередньої (усі ці розмірковування правильні для спостерігача, що перебуває на географічній широті $\varphi = 50^\circ$, для інших широт буде інакше, і в разі потреби це можна обчислити за допомогою «Астрономічного календаря»).

Деяко іншою є залежність для моментів заходу Місяця. У першому з згаданих тут випадків (рух Місяця в бік Північного полюса світу) Місяць заходить на 70–85 хвилин пізніше, ніж попередньої доби.

Якщо ж він рухається в бік Південного полюса світу, що запізнення може досягати усього 20—16 хвилин.

Цікавим є таке завдання: порівнюючи моменти сходу і заходу Місяця, взяті із відривного календаря для двох-трьох діб підряд, зробіть висновок про зміну його схилення $\delta_{\text{м}}$, перевірте це за допомогою спостережень, після чого зіставте усі ці результати з даними «Астрономічного календаря» на цей рік.

2. Оскільки обертається весь небосхил (що є відображенням обертання Землі навколо своєї осі), то і Місяць, і зорі, піднявшись над горизонтом і досягши свого найвищого положення, заходять. Однак *відносно зір* Місяць пересувається до сходу приблизно півградуса (тобто на свій діаметр!) за годину. І щоб це виявити, досить запам'ятати його положення відносно якоїсь близької яскравої зорі й поглянути на нього ще раз через годину.

Дочекавшись чергової появи Місяця на вечірньому небі, записують момент його проходження поблизу тієї ж зорі, що й попереднього разу. Так з'ясовують, що, *переміщуючись серед зір, Місяць повертається на те ж місце щодо них через кожні 27 1/3 доби* (точніше — через 27,321661 доби \approx 27 діб 7 год. 43 хв. 11,5 с). Цей проміжок часу називають *сидеричним періодом обертання Місяця навколо Землі* (сидеричним місяцем, зоряним місяцем, від лат. *sidus* — світило, зоря).

3. Уважно фіксуючи положення центра диска Місяця відносно зір протягом синодичного місяця і наносячи їх на карту зоряного неба, виявляють, що *велике коло, по якому здійснює видимий рух Місяць, не збігається з екліптикою*, а нахилене до неї під кутом $i = 5^{\circ}9'$. Шлях Місяця на небі перетинає екліптику у двох точках, що називаються *вузлами місячної орбіти*. Вузол, через який Місяць рухається у напрямі до Північного полюса світу, називають *висхідним* (позначають знаком Ω), протилежний — *низхідним* (позначають ϑ). Проміжок часу, протягом якого Місяць повертається до того ж вузла своєї орбіти, називається *драконічним місяцем*. Він триває 27,212220 доби. Це на 0,109441 доби = 2 год. 37 хв. 36 с менше від тривалості сидеричного місяця.

Через кожні 27,21 доби Місяць перетинає екліптику (скажімо, проходить через висхідний вузол) в іншій точці, ближче до заходу на $1,5^{\circ}$ і незримо описує на небі зовсім іншу траєкторію. Це означає, що вузли місячної орбіти рухаються назустріч Місяцеві та пересуваються за рік уздовж екліптики на $19,3^{\circ}$, здійснюючи повний оберт по ній за 18,6 року (рис. 4.6).

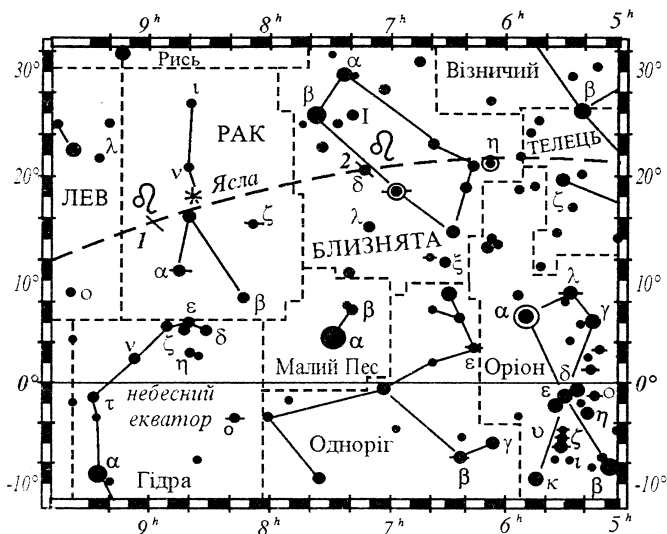


Рис. 4.6. Положення висхідного вузла місячної орбіти 22 січня (1) і 13 грудня (2) 2000 р.

4. З'ясувавши умови видимості Місяця на вечірньому небі протягом року, переконуємося, що вони дуже різні. Навіть без кутових вимірювань легко виявити, що *весною на вечірньому небі Місяць у першій чверті підіймається дуже високо, тоді як восени — надто низько, у третій чверті вранці картина є протилежною.*

Причина цього очевидна. Весною (у березні) дуга екліптики перебуває на небосхилі над небесним екватором, причому її найбільша відстань від нього досягає $23,5^\circ$ (рис. 4.7). Відповідно Місяць відхиляється від екліптики в той чи інший бік на $5^\circ 9'$. Тому для спостерігача, що є на географічній широті φ , наповесні Місяць, перебуваючи на вечірньому небі у першій чверті, досягне у верхній кульмінації висоти $h = (90^\circ - \varphi) + 23,5^\circ \pm 5^\circ$, що при $\varphi = 50^\circ$ становить $h = 63,5^\circ \pm 5^\circ$. Знак «+» відповідає випадкові, коли з точкою весняного рівнодення збігається висхідний вузол місячної орбіти. Це, зокрема, було у жовтні 1987 р. і травні 2006 р. (тобто повторюється через кожні 18,6 року, і знову буде у січні 2025 р.). У ці роки й простежується найвищий Місяць: його висота в меридіані при $\varphi = 50^\circ$ досягає $68,5^\circ$. У лютому 1997 р. з точкою весняного рівнодення збігався низхідний вузол місячної орбіти. Тоді-то найбільша висота Місяця в меридіані весною на вечірньому

небі для цього ж спостерігача становила $58,5^\circ$. У майбутньому така ж ситуація повториться у вересні 2015 р., квітні 2034 р. і т. д.

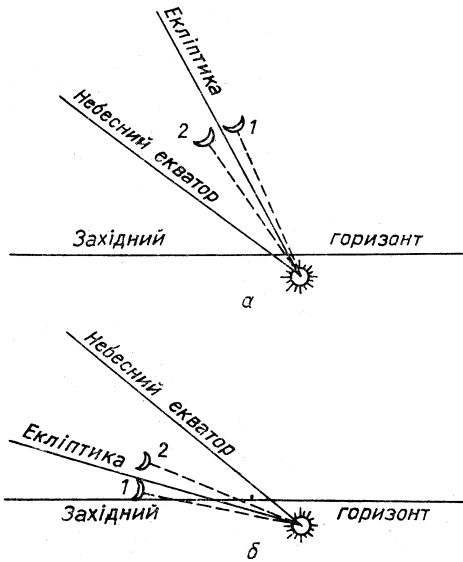


Рис. 4.7. Положення Місяця на небі у першій чверті на весняному (а) й осінньому (б) небосхилах, у випадках 1 і 2 з точкою весняного рівнодення збігаються відповідно висхідний і низхідний вузли місячної орбіти

му небі висота Місяця у верхній кульмінації протягом названого періоду коливається в межах $11,5\text{--}21,5^\circ$. Якщо ж спостерігати Місяць у третій чверті вранці, то картина прямо протилежна: весною його висота $h_{\text{вк}}$ коливається в межах $11,5\text{--}21,5^\circ$, а восени — $58,5\text{--}68,5^\circ$.

Якщо є невеликий телескоп, то можна спостерігати *покриття зір Місяцем*. Такі спостереження мають наукове значення — їх використовують для уточнення теорії руху Місяця.

Рухаючись по небу, Місяць час від часу покриває своїм диском ту чи іншу зорю. Орієнтовні моменти цих явищ для деяких міст наведено в астрономічних щорічниках. Зазначимо, що спостерігач повинен знати свої координати (географічну довготу і широту) з точністю не гірше $1'$. Завдання полягає в тому, щоб зареєструвати з точністю при-

Восени (у вересні) на вечірньому небі екліптика перебуває нижче від небесного екватора. Тому й висота Місяця у верхній кульмінації в цей час становить $h_{\text{вк}} = (90^\circ - \varphi) - 23,5^\circ \pm 5^\circ$, причому в роки найвищого Місяця тут потрібно ставити знак мінус, а в роки найнижчого Місяця — плюс. Якщо $\varphi = 50^\circ$, то $h_{\text{вк}} = 16,5^\circ \pm 5^\circ$: у роки найвищого Місяця найбільша його висота на вечірньому небі восени може становити усього $11,5^\circ$, а у роки найнижчого Місяця — $21,5^\circ$.

Отже, весною найбільша висота Місяця над горизонтом увечері (у першій чверті) змінюється протягом 18,6 року від $58,6^\circ$ до $68,5^\circ$. Восени на вечірньо-

наймні до 0,5 с моменти зникнення зорі за диском Місяця і її появи з-за диска (рис. 4.8). Моменти часу фіксують секундоміром.

Покриття зорі Місяцем буває двох варіантів: покриття темним краєм диска Місяця (до повні) і покриття яскравим краєм (після повні), як це і показано на рис. 4.8. Зручніше (і точніше) спостерігати зникнення зорі за темним краєм місячного диска, тобто у проміжку від неомені до повні. У наступні два тижні ліпше реєструвати *відкриття* — появу зорі з-за темного місячного диска.

Час реєструють таким чином. Спостерігач тримає палець на кнопці секундоміра і в момент зникнення (чи появи) зорі натискає її, запускаючи секундомір. Потім відходить до перевіреного годинника і натискуванням кнопки зупиняє секундомір в той момент, коли секундна стрілка годинника показує нуль секунд. Віднімаючи від показання годинника показання секундоміра, обчислюють момент покриття (відкриття).

Годинник треба перевіряти за радіосигналами точного часу. Точний час, котрий можна знайти через Інтернет, не є дуже точним, оскільки проходження інформації мережами вимагає деякого часу, котрий може сягати трьох секунд.

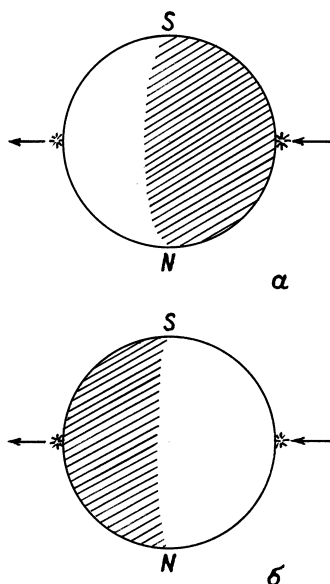


Рис. 4.8. Покриття зір Місяцем, як його видно в окуляр телескопа: *a* — покриття темним краєм (від нового місяця до повні); *b* — покриття яскравим краєм (від повні до нового місяця); стрілками вказано відносний рух зорі в полі зору телескопа

4.2. ВИВЧЕННЯ ЗМІНИ ФАЗ МІСЯЦЯ

Вище описано чотири найголовніші фази Місяця — повний місяць, першу чверть, повню, третю чверть, а також неоменію — першу появу Місяця на вечірньому небі, яка в давнину для багатьох народів ставала «вказівкою» про те, що розпочинається новий календарний місяць.

Отже, зафіксуємо (запишемо в журнал спостережень) дату і час (годину, хвилину), коли, на нашу думку, Місяць перебуває у фазі «перша чверть». Водночас замалюємо його положення серед зір. Згодом, спостерігаючи за зміною його зовнішнього вигляду, очікуємо повторення тієї ж ситуації — наступної першої чверті. Знову фіксуємо дату і час в журналі, а також замальовуємо його положення серед зір у цей момент.

Таким чином визначаємо, що ті ж самі фази Місяця повторюються через кожні $29\frac{1}{2}$ доби (точніше, через $29,53058818$ доби = $29^d12^h44^m2,8^s$). Цей проміжок часу, як знаємо, називається синодичним місяцем (це проміжок часу, протягом якого повторюються сполучення Місяця з Сонцем).

Лише через $2,21 \approx 2\frac{1}{5}$ доби після того, як Місяць повернувся до тої ж зорі (за сидеричний період $T = 27\frac{1}{3}$ доби), він досягає фіксованої фази (наприклад, повторної першої чверті) і за ці $2\frac{1}{5}$ доби він зміщується серед зір на «додаткові» близько 30° (рис. 4.9).

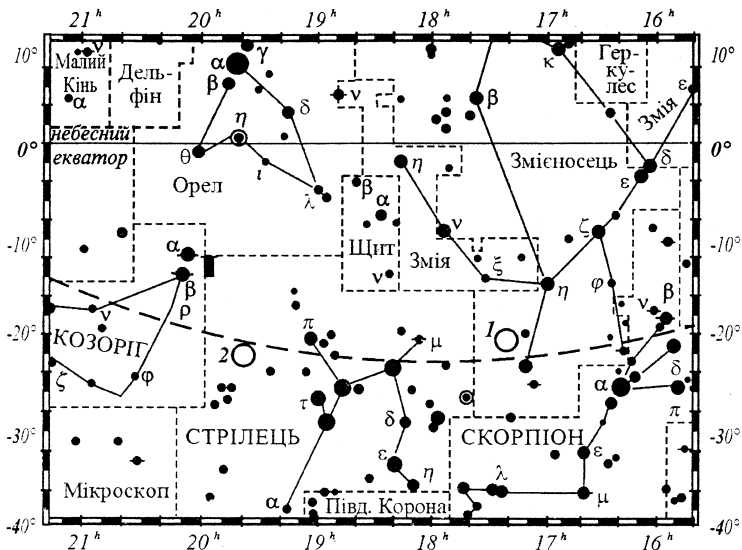


Рис. 4.9. Положення Місяця на небі на момент двох послідовних однакових фаз: повня 16 червня (1) і 16 липня (2) 2000 р; це зміщення Місяця відносно зір неба зумовлене пересуванням Сонця на екліптиці приблизно на 30°

Різна тривалість сидеричного та синодичного місяця очевидна: Сонце також пересувається на тлі зір у напрямі з заходу на схід на 1° за добу. За $27\frac{1}{3}$ доби, коли Місяць здійснить повний оберт навколо Землі й повернеться до деякої зорі, Сонце зміщується серед зір (по екліптиці) на 27° . Тому, щоб зайняти те ж положення щодо Сонця (бути у тій же фазі), Місяць повинен рухатися ще $2\frac{1}{5}$ доби. Це можна пояснити й за допомогою реального руху Місяця разом з Землею навколо Сонця (рис. 4.10).

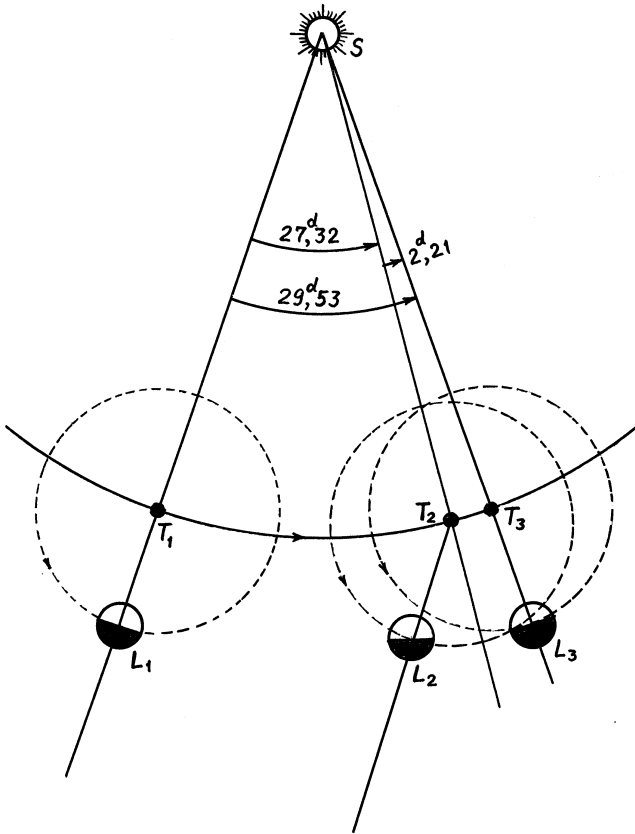


Рис. 4.10. Пояснення неоднакової тривалості синодичного і сидеричного місяця з урахуванням реального руху Землі й Місяця навколо Сонця

Звичайно, накреслені у цій схемі кола (орбіта Місяця) є умовними, вони мають сенс, якщо рух Місяця розглядають з Землі. Якщо ж узяти до уваги обертання системи Земля—Місяць навколо Сонця, то картина складніша: Земля «втікає» від Місяця, коли він у першій чверті, і «наздоганяє» його, коли він у третій (рис. 4.11).

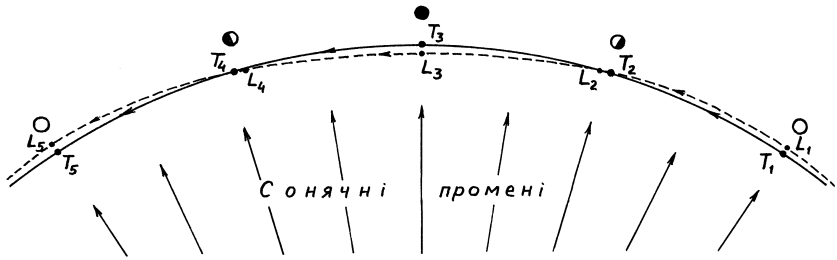


Рис. 4.11. Рух Місяця L навколо Землі T в системі координат, пов'язаній з Сонцем S . В масштабі цей рисунок неможливо зробити, оскільки відстань між Місяцем і Землею становить $1/400$ відстані Землі від Сонця. Тому і дугу довелося зробити значно більшою. Суттєвим є те, що траєкторія Місяця відносно Сонця всюди увігнута, оскільки до Сонця Місяць притягується вдвічі сильніше, ніж до Землі

Якщо спостереження Місяця тривалі, то можна виявити, що наведені вище періоди обертання Місяця є усередненими значеннями за багато сотень років. Зокрема, реальна тривалість синодичного місяця змінюється від $29^d6^h15^m$ до $29^d19^h12^m$. Тому й моменти настання деякої фази, якщо їх обчислити за середньою тривалістю синодичного місяця, можуть істотно (до ± 13 год.) відхилитися від спостережуваних.

З'ясувавши, що фази Місяця змінюються через кожні 29,53 доби, можемо умовно ввести поняття *віку Місяця* в добах від моменту його сполучення з Сонцем. Визначаючи вік Місяця, зставляємо його зовнішній вигляд з рис. 4.12, на якому показано положення термінатора з інтервалом в одну добу.

Нагадаємо, що літописці, зокрема автор «Повісті временних літ», вік Місяця вміли визначати дуже точно і це знання вони використовували для опису часткових затемнень Сонця. Наприклад, у літописі читаємо, що «солнце аки молод місяць бисть» (у році 1065), «яко млад місяць двою дні» (1321 р.), «яко же бивает місяць 4 дні» (1140 р.), «яко 5 днів місяць», «яко 10 днів місяць» (1460 р.). Про сонячне затемнення 1230 р. у Лаврентіївському літописі мовиться, що Сонце має вигляд

«як місяць 3 дні». Це дало змогу астрономам у кожному конкретному випадку визначити, де було зроблено той чи інший запис.

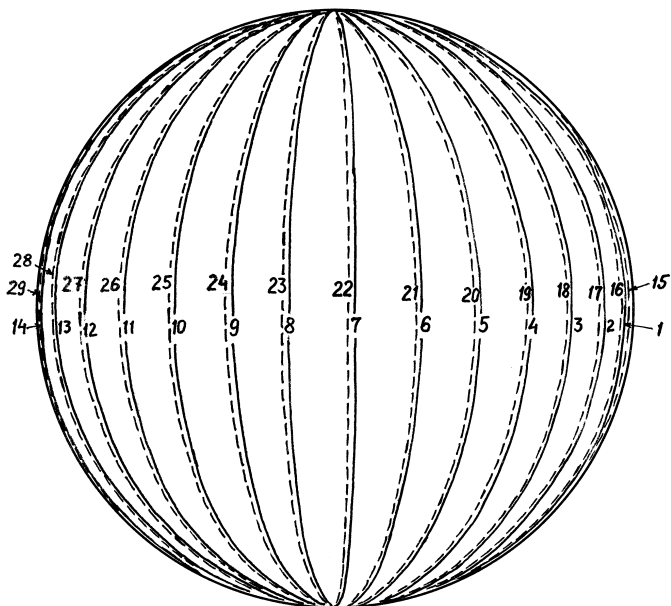


Рис. 4.12. Наближений вигляд фаз Місяця, як вони спостерігаються неозброєним оком (північ зверху); вік Місяця вказано в добах. Термінатор вказано суцільними дугами до повні та пунктирними — після повні

Визначення віку Місяця потребує деяких навичок. Це вміння свідчить про те, що наші предки спостерігали за Місяцем регулярно.

4.3. ФІЗИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ МІСЯЦЯ

Зауваження щодо орієнтування на Місяці. Коли ми дивимося на Місяць із Землі, його бік, котрий ближче до заходу, ми звемо західним і, відповідно, бік, ближчий до сходу — східним. Якщо земний спостерігач знаходиться, як ми, у північній півкулі, ближче до заходу буде правий край Місяця, а до сходу — лівий. Тому історично і склалося, що праву півкулю його (де Море Криз) назвали західною, а ліву (де Океан Бур) — східною. Але з початку космічної ери це виявилось

незручним. Бо для спостерігача на Місяці східним боком, природно, є той, що раніше освітлюється Сонцем. Термінатор пересувається для нас справа наліво, тобто ранок на Місяці спочатку настає на правому боці. І тепер цей бік вважається східним, отже, Море Криз — на сході, а Океан Бур — на заході. Читач повинен враховувати цю обставину, маючи справу із літературою і картами минулих років.

Місячні лібрації. Завдяки так званим *лібраціям* (погойдуванням) Місяця можливі спостереження майже 60 % його поверхні.

Оптичні, або видимі лібрації, при яких в дійсності ніяких «погойдувань» не відбувається, бувають трьох видів: по довготі, по широті та паралактична.

Лібрація по довготі виникає через те, що Місяць обертається навколо осі рівномірно, а його рух по орбіті, згідно другому закону Кеплера, поблизу перигею швидший, а поблизу апогею — повільніший. Тому за чверть місяця після проходження перигею P (рис. 4.13) Місяць пройде шлях більший чверті всієї орбіти, а навколо осі обернеться рівно на 90° . Точка a , яка раніше перебувала в центрі місячного диска, тепер для спостерігача наших північних широт буде видною вже лівіше (зміститься на диску до заходу, чи, як вважалося раніше, до сходу — див. зауваження щодо орієнтування). В цьому ж напрямку зміститься і точка b , яка раніше була видною на правому (східному, раніше — західному) краю диска, і, отже, буде видимою частина поверхні Місяця за правим краєм його диска. В апогеї A буде видимою та сама поверхня Місяця, що й в перигеї, але за чверть місяця після проходження апогею Місяць пройде менше чверті своєї орбіти, а навколо осі знову обернеться рівно на 90° , і тепер вже буде видимою частина поверхні Місяця за лівим краєм диска. Період лібрації по довготі дорівнює *аномалістичному місяцю* — проміжку часу між двома послідовними проходженнями Місяця через перигей (27,55 середніх діб). Найбільша можлива величина лібрації по довготі становить $\pm 7^\circ 54'$.

Лібрація по широті виникає через нахил осі обертання Місяця до площини його орбіти і збереження напрямку осі у просторі при русі Місяця (рис. 4.14). В результаті з Землі поперемінно видна то частина поверхні Місяця, розташована навколо його південного полюса, то, навпаки, навколо північного полюса. Період лібрації по широті дорівнює так званому *драконічному місяцю* — проміжку часу між двома послідовними проходженнями Місяця через один і той самий вузол своєї орбіти (27,21 середніх діб). Величина лібрації по широті сягає $\pm 6^\circ 50'$.

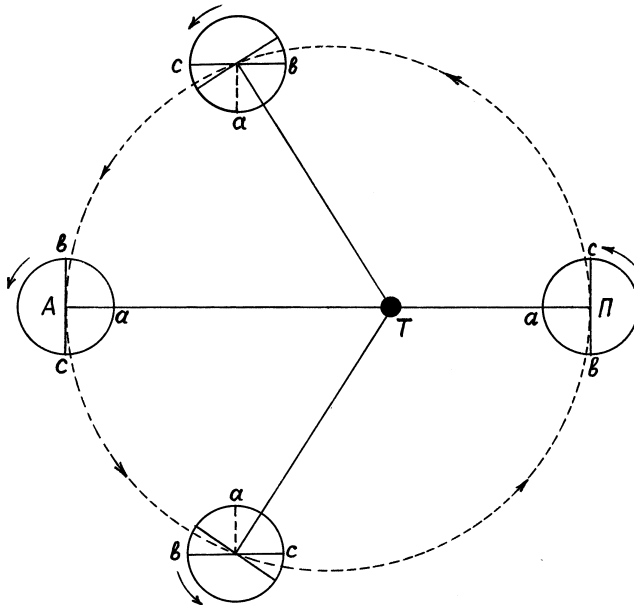


Рис. 4.13. Лібрація Місяця по довготі

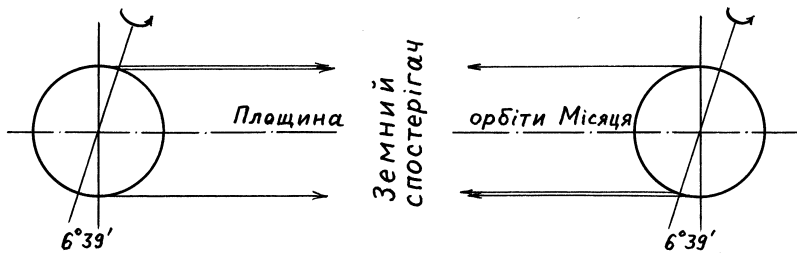


Рис. 4.14. Лібрація Місяця до широті

Добова або паралактична лібрація виникає внаслідок порівняної близькості Місяця до Землі. Тому із різних точок Землі поверхня Місяця видна неоднаково. Два спостерігача, що знаходяться в двох протилежних точках земного екватора, в один і той самий момент бачать дещо різні області місячної поверхні. Так, спостерігач, для якого Місяць тільки сходить, бачить частину поверхні Місяця за її верхнім (східним, котрий звався раніше західним) краєм диска, а другий спостерігач, для якого Місяць в цей момент вже заходить, цієї частини

поверхні Місяця не бачить, але зате бачить частину поверхні за верхнім (західним, раніше — східним) краєм диска. Паралактична лібрація сягає приблизно $\pm 1^\circ$.

Фізична лібрація, тобто дійсне «погойдування» Місяця, відбувається через те, що велика піввісь місячного еліпсоїда періодично відхиляється від напрямку на Землю, а притягання Землі прагне повернути її в це положення. Величина фізичної лібрації дуже мала — біля 2”.

Поверхня Місяця. Період обертання Місяця навколо осі дорівнює сидеричному місяцеві. Тому Місяць повернутий до Землі завжди одним і тим же боком. Узявши за основний напрям вісь обертання Місяця, астрономи ввели поняття місячного екватора й розробили систему *селенографічних координат* (від гр. Σελήνη — богиня Місяця).

Поверхню Місяця розпочав досліджувати Галілей у 1609 р. Він запровадив поняття «морів» (гладеньких темніших регіонів) та «материків» (світліших, гористих). Деякий час вважалося, що «моря» — дійсні водойми, оскільки гірські озера згори виглядають темними. Згодом з’ясували, що поверхня «морів» не така вже й гладенька, а причина полягає лише в неоднакових властивостях речовини цих утворів: світлі ділянки поверхні Місяця відбивають близько 20 % сонячних променів, тоді як темні — удвічі-утричі менше.

Сьогодні вже близько 1300 об’єктів поверхні Місяця мають власні назви. Щоб ліпше запам’ятати ці назви, доцільно згадати історію цього питання. Першим, хто почав таку роботу, був бельгійський учений *Мішель ван Лангрен* (1600–1675). На його карті Місяця (1645 р.) близько 300 об’єктів було названо іменами біблійних пророків, християнських святих, членів іспанської королівської сім’ї тощо. З них досі збереглися назви трьох кратерів: Катарина, Кирил і Теофіл — відповідно на честь св. Катерини та двох єпископів Александрійських (IV–V ст.).

Польський астроном *Ян Гевелій* (1611–1687) у «Селенографії» (1647 р.) розмістив на карті Місяця близько 250 зовсім інших назв місячних об’єктів. Він «переніс» у свою карту назви земних морів, гір і міст. Проте і цей принцип найменувань не прийняли. З усіх цих назв збереглися лише імена місячних гір Альпи та Апенніни і трьох гірських виступів.

У 1651 р. у книзі «Новий Альмагест» італійського астронома *Джованні Річчіолі* (1598–1671) опубліковано карту Місяця, складену його співвітчизником *Франческо Грімальді* (1618–1663). Очевидно, завдяки популярності цієї книги, що була своєрідною енциклопедією астро-

номічних знань того часу, введені в ній назви об'єктів поверхні Місяця почали використовувати й інші астрономи, вони в основному збереглися досі.

На цій карті вперше з'явилися Море Дошів і Море Криз (та й інші моря, перелік яких наведено в табл. 8-Б Додатка). Грімальді вдало використав для найменування понад 200 кратерів імена вчених, розподіливши їх у напрямі з півночі на південь, переважно у хронологічному порядку — від античних часів аж до часу складання карти. Так увіковічено пам'ять, скажімо, грецьких філософів Ксенофана (570–478 до н. е.), Анаксимандра (611–547 до н. е.), Піфагора (580–496 до н. е.), астрономів Клеострата і Метона та ін.

Нові 70 назв з'явилися на карті Місяця, складеній 1791 р. німецьким юристом і видатним аматором астрономії *Йоганом Шретером* (1745–1816), ще 140 — на карті (1836 р.) німецького астронома *Йоганна Медлера* (1794–1874). Серед цих назв є кратери Ньютон, Гаусс та ін. Сталося так, що для фундатора класичної фізики Ньютона знайшли кратер діаметром лише 64 км поблизу Південного полюса ($17^{\circ}W, 77^{\circ}S$), при якому не проставляють назви навіть на плакатних навчальних картах Місяця.

Однак у XIX і на початку XX ст. майже кожен упорядник карти Місяця намагався у той чи інший спосіб використати нові назви, іноді перейменовуючи окремі об'єкти. Це припинилося у 1932 р., коли IV з'їзд Міжнародної Астрономічної спілки затвердив 632 назви найбільших об'єктів видимої з Землі поверхні Місяця. З 1959 р., після того як автоматична міжпланетна станція «Луна-3» (СРСР) уперше сфотографувала зворотний бік Місяця, розпочали копітку роботу — складання «Атласу зворотного боку Місяця». Серед багатьох назв там є прізвища Кондратюка і Корольова.

І хоча, як уже зазначалося, сьогодні власні назви мають близько 1300 об'єктів поверхні Місяця, все ж деякі кратери навіть з діаметром 50 км безіменні. Їх прийнято позначати за назвою найближчого кратера з додатком: для кратерів і долин — латинських літер *A, B, C, ...*; для висот — грецьких літер $\alpha, \beta, \gamma, ...$; для тріщин — римських цифр з літерою *r* (від лат. *rima* — тріщина).

Поверхня Місяця дуже складна і своєрідна. Місячний ландшафт не має нічого схожого з земним. Найбільш помітні на Місяці «*моря*», які можна бачити неозброєним оком як темні великі ділянки. Місячні моря не мають нічого спільного зі знайомим нам поняттям. Утворилися місячні моря мільярди років тому внаслідок випадання на по-

верхню гігантських метеоритів і подальшого заповнення провалів вулканічною лавою. Площа морів сягає 40 % видимої півкулі. Розміри морів — 500–700 км і навіть 1000 км в діаметрі. Крайові підвищення на периферії морів називають *кордильєрами*.

Більш світлі ділянки — *материки* займають близько 60 % місячного диска і мають дуже складну структуру. На них виділяються численні кільцеві гори, серед яких розрізняють цирки, кратери і кратерочки. Частини морів, що вдаються в материки, називаються *затоками*, ізольовані темні плями невеликих розмірів — *озерами*. Області, що проміжкові за яскравістю між материками і морями, іноді називаються *болотами*.

Характерними утвореннями як на Місяці, так і на багатьох інших тілах Сонячної системи є кільцеві гірські споруди, котрі (дещо умовно) можна поділити на цирки (лат. *circus* — коло, круг) та кратери (грецьк. кратηρ — чаша).

Цирк являє собою велику круглу рівнину (*дно*), що облямоване кільцевим гірським хребтом (*валом*). Діаметр вала цирка досягає іноді 250 км, а висота — 5 км. Через велику кривину місячної поверхні, для спостерігача, що стоїть у центрі великого місячного цирка, вал може виявитися невидимим, знаходячись під лінією горизонту. У деяких цирків дно дуже темне, і їх можна розглядати як форму, близьку до морів, більш того, моря також бувають частково облямовані гірськими хребтами, а одне з малих морів (діаметр близько 500 км), Море Криз, цілком облямоване хребтами і може розглядатися як гігантський цирк. Інші цирки світліші. Як правило, дно цирка лежить нижче оточуючої місцевості, але буває і навпаки, зокрема, відомий цирк Варгентин, заповнений до самого верху вала, так що він виглядає як монета. Одиначні цирки зустрічаються і всередині морів. Цирки названі іменами вчених (Платон, Птолемей та ін.).

Кратер — це той самий цирк, але він має гостроконечну гору, розташовану у центрі кільцевого вала (так звана *центральна гірка*). Кратери у середньому менші, ніж цирки, але найкрупніші з них досягають розмірів великих цирків. Так, діаметр Тихо і Коперника близько 90 км, а в кратера Ціолковський на зворотному боці Місяця діаметр вала 200 км. Як правило, темне дно у кратерів не зустрічається, а деякі серед них — Аристарх, Кеплер, Тихо, Прокл — мають особливо високу яскравість і виглядають у повню яскравими точками на місячному диску. У протилежність їм кратер Ціолковський має дуже темне дно діаметром біля 120 км і центральну гірку, дуже світлу, витягнуту до 40 км.

Внутрішній схил кільцевого валу цирків та кратерів звичайно більш крутий, ніж зовнішній. Взагалі ж схили досить пологі. Так, рельєф Місяця вже на 20° від термінатора стає непомітним, оскільки майже всюди зникають тіні великих об'єктів. На рис. 4.15 показано в одному масштабі профілі деяких гірських споруд на Землі, Місяці та Марсі.

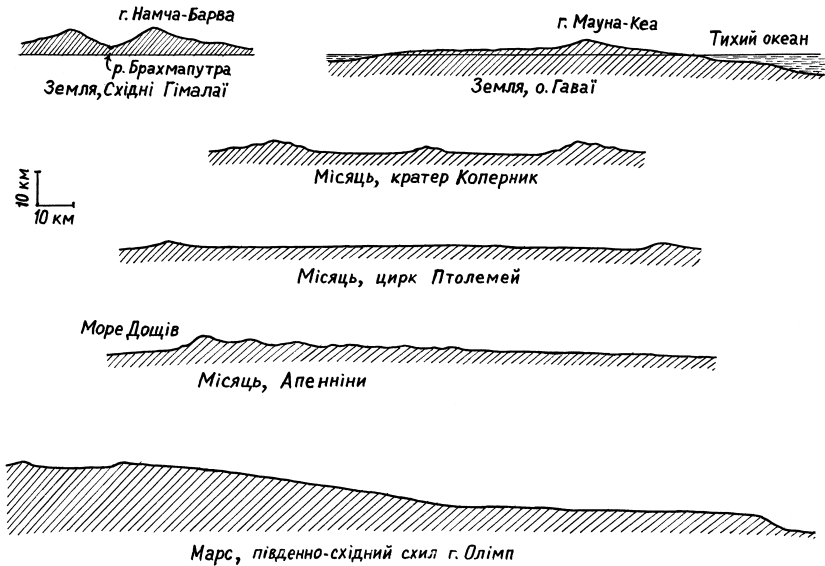


Рис. 4.15. Профілі деяких гірських споруд на Землі, Місяці та Марсі в одному масштабі

Цирків і кратерів великих розмірів (діаметром, більшим 20 км) на видимому боці Місяця налічуються сотні. Дрібніших утворень, наприклад, 10 км у поперечнику, налічуються вже тисячі, а зовсім дрібних *кратерочків* (або *лунок*), що вкривають поверхню місячних материків, у тому числі дно і вали цирків і кратерів, — сотні тисяч. Існуючий каталог місячних утворень містить понад 17000 кратерів діаметром більше 3,5 км тільки на видимому боці Місяця. Поділ на цирки та кратери, як зазначалося, досить умовний, і багато вчених надають перевагу терміну *кільцеві гори*.

Зовсім інші утворення — *гірські хребти*, що тягнуться на сотні кілометрів, здебільшого біля границь морів, і обернені до останніх сво-

їми більш крутими схилами. У них вирізняються окремі вершини і піки. Втім, останні зустрічаються цілком відособлені, відокремлені, як, наприклад, ціла низка піків на півночі Моря Дощів. Окремі вершини добре помітні у горах. Вершина Брадлей у гірській гряді Апенніни сягає висоти 4,7 км над рівнем сусіднього Моря Дощів. Найвищі гори на Місяці — гори Лейбніца біля південного полюса мають висоту до 9 км. На Місяці немає «рівня моря», але можна говорити про умовний середній рівень. Найнижчі місця на Місяці — в області Моря Дощів і Океану Бур — знаходяться нижче середнього рівня на 2,5 км, а найвищі плато материків — вище цього рівня на 1,5 км. Схили гірських хребтів мають середній кут нахилу до горизонту 30°. Значно мілкіші обриси мають невисокі і пологі вали або жили, помітні на поверхні морів лише при дуже косому освітленні. Зазначимо, що термін «хребет» стосовно місячних гірських утворень вживається традиційно. Правильніше було б назвати їх грядами. Вони зовсім не схожі на земні хребти, котрі утворюються внаслідок взаємодії літосферних плит, пізніше водою і кригою спочатку «загострюються», а далі згладжуються і руйнуються.

Протилежність гірським хребтам складають тонкі, з дуже обривистими краями, *тріщини*. Їхня ширина і глибина складає декілька сотень метрів, але довжина іноді дорівнює 100 км, і в одному випадку сягає 350 км (тріщина в районі кратера Триснеккер). Більш широкі та менш обривисті з них називаються *борознами*. Звичайно, і ті, і інші на своїй довжині мають злами та звивини, часто тріщини є як би ниткою, на яку нанизані численні дрібні кратери.

Схожими з тріщинами утвореннями місячної поверхні є місячні *долини*, ширина яких сягає 10 км при довжині до 180 км і більше. Така, наприклад, прямолінійна долина в хребті Альп, що має рівне дно і круті схили. Зворотна до них структура — Пряма Стіна — високий уступ висотою до 400 м та довжиною 130 км. Нахил окремих її місць сягає 40°.

Виключно цікавою деталлю на поверхні Місяця є *світлі промені*, що виходять із деяких кратерів і тягнуться на величезні відстані по дугам великих кіл, нагадуючи пучок меридіанів, що виходять із полюсів на земному глобусі. Ці промені перетинають цирки, кратери, моря і гірські хребти, що зустрічаються на їхньому шляху, не змінюючи свого напрямку. Особливо цікавою є система променів, що виходять із кратера Тихо у південній півкулі Місяця. Один з цих променів простягається по довжині майже на 4000 км. Дуже багата і складна

система променів, що належать кратеру Коперник. Деякі з кратерів мають лише один або два промені: наприклад, у двох близьких кратерів Мессьє два промені розходяться під малим кутом, утворюючи ніби сніп прожектора. На материках промені добре видні тільки поблизу повні. На морях вони видні завжди. Аналогічна променям світла речовина оточує деякі кратери у вигляді сяння, особливо добре помітного під час повні.

Цікаво, що на зворотному боці Місяця виявлено всього декілька порівняно невеликих морів. Там, однак, знайдено нові утвори: *тала-соїди* (мореподібні) — великі западини, поверхня яких така ж світла, як і материки.

Дослідження місячного ґрунту дали змогу дійти висновку, що внаслідок тривалого «бомбардування» поверхні Місяця метеоритами на ній утворився крихкий уламковий шар товщиною близько 6 м — *реголіт*. Він складається з трьох фракцій — кристалічних вивержених порід, брекчій та дрібнозернистого матеріалу. *Брекчія* — це суміш дрібненьких частинок мінералів, тобто уламків гірських порід, зцементованих склом. Зовнішній шар реголіту — це піщано-пиловий матеріал темно-сірого та буруватого кольору товщиною 15–30 см. Уперше ступили на цей місячний ґрунт американські астронавти *Нейл Армстронг* та *Едвін Олдрін*, які досягли Місяця у Морі Спокою 20/21 липня 1969 р. (місячний модуль здійснив посадку незадовго до півночі за всесвітнім часом 20 липня, а астронавти вийшли назовні вже 21 липня). Третій астронавт, *Майкл Коллінз*, очікував їхнього повернення на основному кораблі *Аполло-11* на навколomisячній орбіті. Загалом же, як знаємо, за наступні два з половиною роки там побувало ще десять астронавтів, на Землю доставлено близько 400 кг місячного ґрунту. Якщо вище мовилося про «вік Місяця» стосовно його фази, то тут доречно зауважити: аналіз хімічного складу місячного ґрунту (відносної кількості у ньому різних ізотопів) дав змогу виявити, що вік Місяця як небесного тіла досягає 4,5 млрд. років.

Схематична карта Місяця з позначенням основних об'єктів наведена на рис. 4.16, а на рис. 4.17 — фотографія Місяця. Назви об'єктів, позначених на карті, наведено у Додатку, табл. 8-Б, там же наведений список кратерів на Місяці в алфавітному порядку. Кратери й цирки перенумеровано сектор за сектором по довготі, в межах одного сектора — з півночі на південь. В алфавітному порядку латинських літер справа наліво позначено інші об'єкти (тут ми виключили літеру «о», щоб не прийняти її за кратер і додали «р'»). Зауважимо, що українське

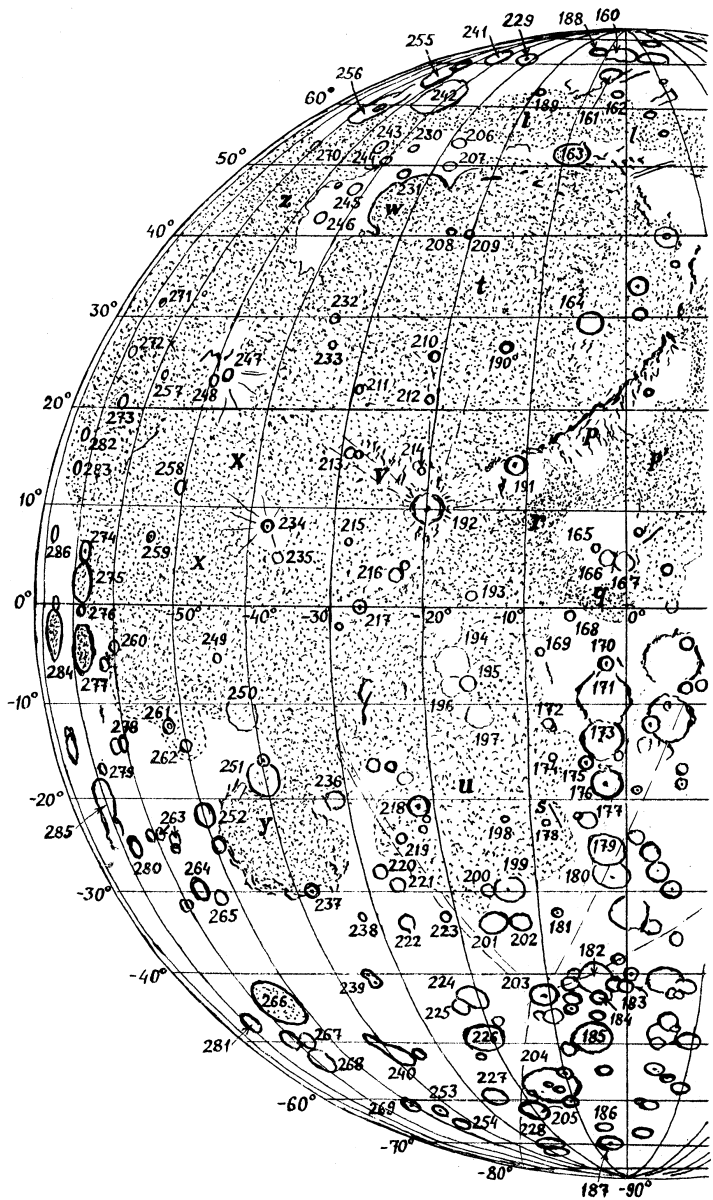
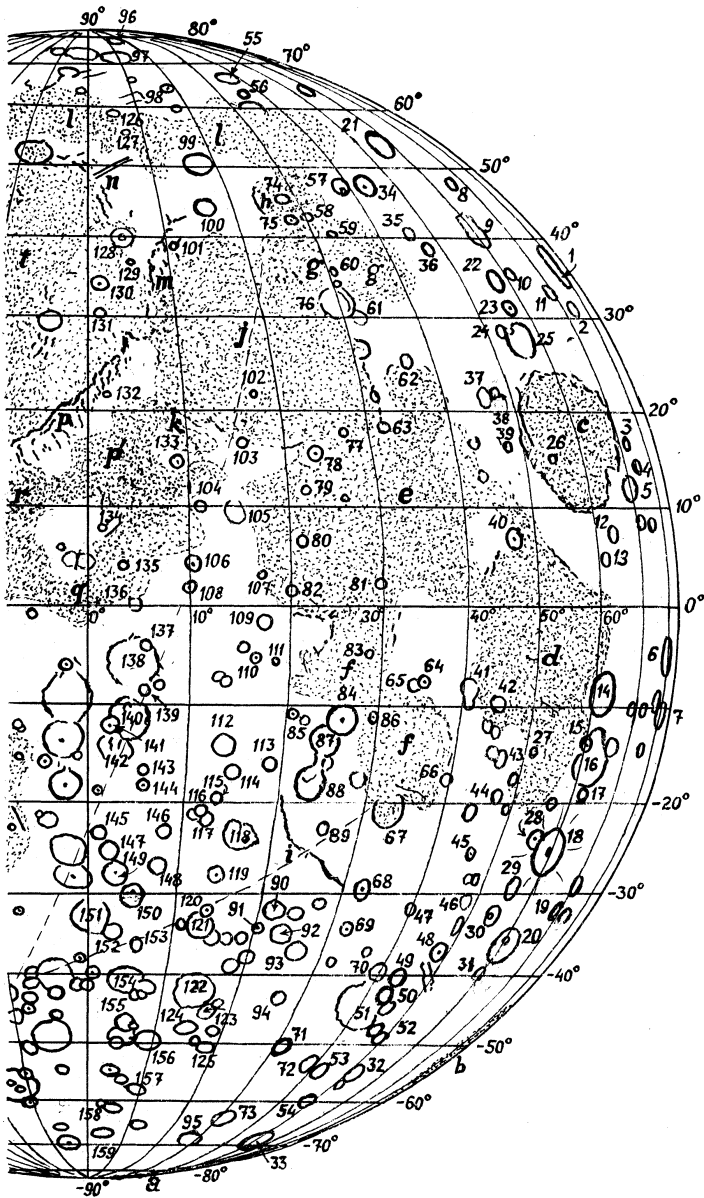


Рис. 4.16. Схематична



карта Місяця

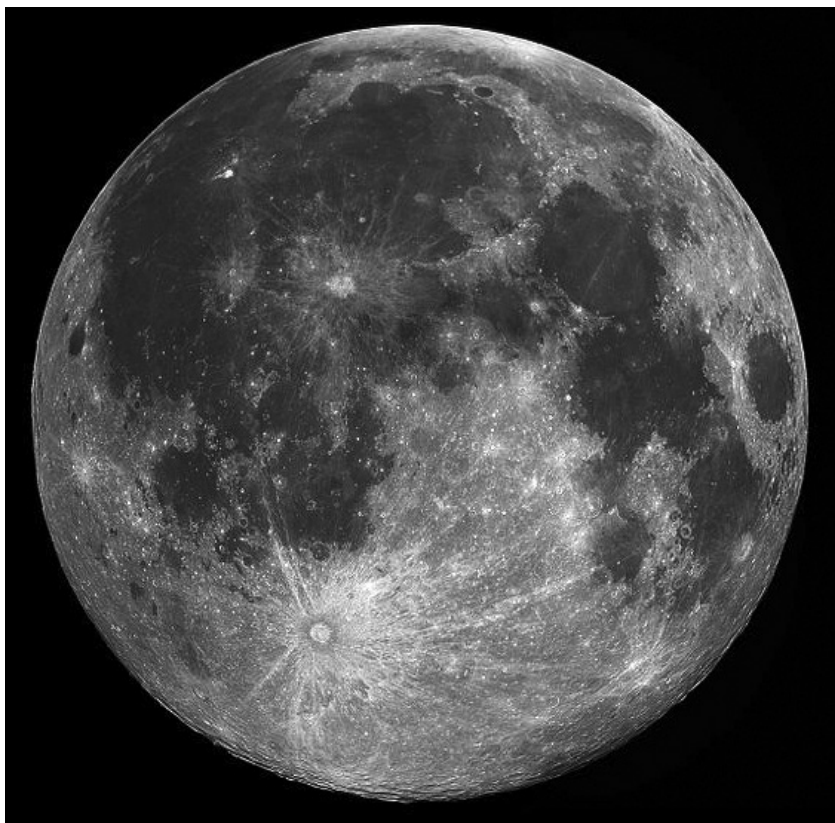


Рис. 4.17. Фотографія Місяця

написання окремих імен у нашому списку відрізняється від інших українських астрономічних видань. Наприклад, приймаючи до уваги, що латинська форма імені датського астронома Браге — Tycho — відповідає нашому Тихон, ми пишемо Тихо замість Тіхо.

Спостереження Місяця. Спостереження Місяця відрізняються від спостереження планет і багатьох інших світил тим, що їх можна вести з дуже скромними засобами. Тому їх можна рекомендувати спостерігачам в якості першого досвіду астрономічних спостережень.

Певна річ, у наш час поверхня Місяця вивчена до подробиць за допомогою як потужних наземних телескопів, так і космічних апаратів. Але для аматора астрономії вивчати деталі місячного рельєфу —

захоплююче заняття, навіть із скромними інструментами. Мабуть, саме Місяць справляє найбільш сильне враження при телескопічних спостереженнях, хоча є безліч цікавих небесних об'єктів — подвійні зорі, зоряні скупчення, яскраві туманності, деталі будови комет, кільця Сатурна, смуги в атмосфері Юпітера і, нарешті, фотосфера Сонця із безперервними змінами вигляду сонячних плям.

Цікаві наступні спостереження Місяця:

1. *Спостереження змінювання виду місячних утворень з фазою Місяця.* Ці зміни зумовлені різницею в умовах освітлення Сонцем, а також різницею положення тих чи інших деталей відносно земного спостерігача внаслідок лібрацій Місяця. За формою тіней від гір та за змінюванням цих тіней можна робити висновок про істинну будову гір, котрі ми завжди бачимо лише зверху. Іноді спостережувані змінювання вигляду деталей місячної поверхні можуть свідчити про її дійсні змінювання. Такі спостереження являють собою надзвичайний інтерес.

Однак, слід пам'ятати, що на Місяці діє дуже мало причин, які можуть спричинити дійсні зміни його поверхні. А змінювання освітленості разом з дією лібрацій можуть суттєво змінити вигляд тієї чи іншої деталі місячного диска.

2. *Визначення забарвлення різних місць на Місяці* (особливо у «морях») та її змінювання. Ці спостереження потребують досвіду, оскільки на перший погляд поверхня Місяця здається безбарвною. При цих спостереженнях корисно вживати світлофільтри: червоний, синій, зелений, фіолетовий.

3. *Визначення висоти місячних гір.*

4. *Оцінки яскравості деталей місячної поверхні.*

Загальне ознайомлення з місячною поверхнею. Спостерігачеві Місяця слід починати свою роботу з вивчення основних елементів місячної топографії, щоб легше орієнтуватися на карті видимої півкулі Місяця.

Вивчення місячної топографії краще всього вести поступово, послідовно переходячи від більш крупних і помітних деталей до менш істотних. Починати краще з того, що в повню, розглядаючи диск Місяця у бінокль, познайомитися із загальними контурами головних морів і нанести їх у вигляді ескізу на приготовлений заздалегідь круг. Моря краще заштрихувати. Нанесіть основні кратери; поблизу повні вони видні як яскраві точки. Відмітьте системи світлих променів. Подивіться на Море Криз, воно завдяки лібрації може бути на помітно

різній відстані від краю диска, оцініть цю відстань, маючи на увазі, що велика вісь Моря Криз складає приблизно 0,25 радіуса Місяця. Намалюйте інші деталі, які ви зможете побачити.

Зроблені замальовки потім порівнюють з картою Місяця. Можливо, ви будете розчарованими. Однак ваші замальовки дуже корисні, оскільки дають загальне уявлення про Місяць. Поставте на рисунку біля зображень тих морів, кратерів та інших деталей, які вам вдалось побачити, номери і складіть список їхніх назв.

Ні в якому разі не намагайтесь виправити рисунок! Саме по собі цікаво, *що саме* кожний спостерігач зможе побачити неозброєним оком або за допомогою невеликого телескопа.

Докладне вивчення топографії Місяця — *селенографії* — найкраще вести послідовно, спостерігаючи кожну ніч області, прилеглі до термінатора, де рельєф виділяється більш чітко. Вже при збільшенні в 40–50 разів на Місяці видно надзвичайно багато деталей. На нашій карті позначені лише деякі з них. Тут ми дамо короткий опис поверхні Місяця, що спостерігається у різних фазах.

Починати такі спостереження можна з другого дня, рахуючи від нового Місяця. Місяць видний у вигляді вузького серпа і розташований на південному заході або на заході невисоко над горизонтом. В цій фазі добре вивчати рельєф крайової зони Місяця та прилеглих областей. Виділяються крупні цирки — Гаусс, Кестнер, а поблизу південного полюса — гори Лейбніца. Ефектно виглядають вже освітлені Сонцем вершини гір, котрі знаходяться ще за термінатором, що обрамляють Море Криз із сходу (праворуч), і схили Кондорсе та деяких інших кратерів.

На наступний день термінатор перетинає Море Криз, яке оточене гірськими пасмами. На поверхні моря виділяються пологі вали і жили, котрі видимі тільки при косому освітленні. Найпомітніші кратери і цирки: Ендиміон, Мессала, Гемін, Клеомед (на північ від Моря Криз), Лангрен, Венделін, Петавій, Фурнерій (на південь від нього).

На четвертий день Море Криз вже повністю освітлене. Термінатор проходить через східний край Моря Холоду (на півночі), а поблизу екватора він проходить біля західних берегів Моря Родючості. В цій фазі дуже цікаві кратери Атлас, Макробій, Тарунцій, Фабріцій, Мецій.

На п'ятий день термінатор перетинає Море Спокою. На північ від нього добре видно красивий кратер Посідоній. Ще далі на північ знаходяться Озеро Сновидінь, Озеро Смерті та Море Холоду. Поряд з Атласом вже повністю освітлений кратер Геркулес. На південь від

Моря Спокою термінатор проходить через Море Нектару. Південний басейн цього «подвійного» моря замикає напівзруйнований кратер Фракастор. А далі починається великий південний материк, всіяний цирками і кратерами.

На наступний день Місяць виглядає дуже ефектно. На півночі з'являються освітлені зубці валів кратерів Аристотель і Евдокс. Південніше розкидається рівнина Моря Ясності, яку перетинають пологі вали, а далі — Море Спокою. Ще південніше кратери Теофіл, Кирил і Катерина утворюють величаву пасму. За ними, вже на південному материка здійснюється Алтай. Високі вершини Катерини і Алтаю раніше навколишньої місцевості освітлюються Сонцем, і місячний серп для неозброєного ока тоді виглядає із маленьким «носіком»!

В день першої чверті термінатор перетинає центральну частину Моря Холоду. Південніше знаходяться Альпи, що косо пересічені глибокою прямолінійною долиною. Далі на південь термінатор проходить через східну частину Моря Дощів з кратерами Аристілл і Автолік. Незабаром лівіше від них з-за термінатора з'являється Архімед. З півдня Море Дощів обмежене горами Апенніни, а зі сходу — Кавказом. Далі на південь розташоване Море Пари і в ньому кратер Манілій. Поблизу центра диска Місяця, в околі кратера Триснеккер, багато тріщин і борозен. За Затокою Центральною починається великий південний материк, на якому виділяються кратери і цирки: Гіппарх, Альбатегній, Лакайль, Бланкін, Вернер, Аліацензіс, Вальтер, Штефлер, Мавролік, Цах, Якобі та багато інших.

У віці Місяця біля 8–9 днів термінатор перетинає Море Дощів, що знамените своїм оточенням. На його північному березі розташований цирк Платон. Південніше його на поверхні моря виступають гірські піки. З півдня море обмежене Карпатами та Апеннінами, між якими розташований кратер Ератосфен. Південніше центра місячного диска ми бачимо той самий південний материк. Тут виділяються цирки і кратери: Птолемей, Альфонс (де в 1958 р. проф. М. О. Козирев спостерігав виверження вулкана), Арзахель, Пурбах, Регіомонтан, Тихо (котрий є центром величезної системи променів), Клавій. На південний схід від Арзахеля, на березі Моря Хмар здійснюється Пряма Стіна — прямий обрив, що дає (вже при збільшенні 40 разів) тонку риску тіні.

На 10-й день від повні з-за термінатора з'являється Затока Райдуги з мисами Лаплас (східний) і Гераклід (західний). Ця затока — одне із найкрасивіших місць на Місяці. На південь від Моря Дощів вже

освітлений кратер Коперник. Далі термінатор проходить по східній частині Океану Бур. Видно освітлені Сонцем вершини Уралу і Рифейських гір, на схід від напівзруйнованих кратерів Фра Мауро, Бонплан і Паррі. В західній частині Моря Хмар виділяється красивий кратер Булліальд, а на південь від нього — Кампан і Меркатор. На південному материку видні Лонгомонтан, Бланкан і багато інших кратерів і цирків.

На наступний день термінатор проходить через середину Океану Бур. Море Дощів вже повністю освітлене Сонцем. В цій фазі з'являється кратер Кеплер. На південь від Океану Бур розташоване округле Море Вологості з цирком Гассенді на північному березі. Далі на південь на материку виділяються цирки і кратери Шіллер, Шейнер, Клапрот та інші.

У віці Місяця 12 діб термінатор проходить поблизу кратерів Аристарх і Геродот, розташованих серед Океану Бур. Аристарх — найсвітліше місце на Місяці. На північ від нього Затока Роси з'єднує Океан Бур із Морем Холоду, за яким видний великий цирк Джон Гершель. А на півдні, на захід від Моря Вологості, виділяється кратер Мерсенн.

За добу до повні неозброєним оком Місяць здається повністю освітленим. Але в телескоп видно, що це не так. В цій фазі на півночі з'являються цирки Анаксімен, Анаксимандр, Філолай. Океан Бур виявляється повністю освітленим. На його західному березі поблизу екватора розташований великий цирк Гевелій, якого «торкаються» кратери Кавальєрі (на північ) і Лорман (на південь). На південному материку видні численні цирки і кратери: величезні цирки Шиккард і Фокілід. Розташований поряд з Шиккардом цирк Варгентин є плоскою столовою горою, оскільки він заповнений речовиною. Повернемося до екватора. На південному сході від Гевелія з'являється великий цирк Грімальді. Його дно — найтемніше місце на Місяці.

Перед повнею з-за термінатора з'являється цирк Річчіолі (на захід від Грімальді), а південніше — Дарвін, Інграмі та інші кратери й цирки.

В повню термінатор обходить Місяць через північний або південний полюс. В цих умовах добре виділяється рельєф відповідної полярної області. А на всьому диску Місяця в цю ніч особливо зручно вивчати потемніння і навіть відтінки кольору різних деталей, а також світлі промені.

Після повні термінатор знову рухається від правого (східного) краю Місяця. Знову в умови косоного освітлення потрапляє область на

схід від Моря Криз. В подальшому термінатор послідовно проходить по Місяцю, але це вже вечірній термінатор (для спостерігача на Місяці Сонце там заходить). І, оскільки світло падає з іншого боку, вигляд рельєфу може дуже відрізнятись від того, що було видно у першій половині місяця. Продовжуйте спостереження. Місяць цікавий завжди. Адже точне повторення освітлення і лібрації трапляється вкрай рідко, і, здавалося б, знайомий місячний пейзаж кожного разу показує щось нове.

Фотографування Місяця. Спочатку скажемо про застосування традиційної техніки. Фотографувати Місяць можна звичайним фотоапаратом, що допускає зміну об'єктивів. Річ у тому, що діаметр зображення Місяця на негативі в середньому в 114 разів менший за фокусну відстань об'єктива, і тому доводиться користуватися довгофокусними та телеоб'єктивами. Підходящим є МТО-1000. Діаметр зображення Місяця в цьому випадку буде біля 9 мм. Непогані результати можна отримати, використовуючи зорову трубу ЗРТ-452 (діаметр об'єктива 75 мм, фокусна відстань — 60 см). Окулярна частина її легко знімається, і на її місце треба встановити перехідну трубку, що укручується іншим кінцем у фотоапарат замість знятого об'єктива. Ця конструкція дозволяє отримати зображення Місяця 5,5 мм в діаметрі. Фотографувати можна на плівки, котрі ще є у продажу. Витримки при цьому будуть порядку 1/10—1/100 с, в залежності від світлосили об'єктива, фази Місяця та чутливості плівки. Для таких зйомок краще використовувати апарат типу «Зеніт», у якого видошукач контролює зображення, що безпосередньо дає об'єктив. Якщо конструкція апарату інша — треба зробити візирний пристрій для наведення на Місяць. Точність наведення і фокусування при цьому визначаються з допомогою матового скла, що розташоване на місці плівки в апараті. У будь-якому випадку необхідно зробити ряд пробних знімків, щоб уточнити фокусування та обрати правильну витримку. Зрозуміло, що перехідна трубка повинна допускати переміщення вздовж оптичної осі для фокусування і потім фіксуватися. Таким чином фотографують Місяць у головному фокусі. Оскільки витримки при цьому малі, немає необхідності враховувати переміщення Місяця в результаті добового руху. Необхідно тільки забезпечити нерухомість апаратури під час зйомки, особливо слідкуючи за тим, щоб в момент спуску затвора не було поштовху.

Якщо спостерігач має телескоп на екваторіальній установці з годинниковим механізмом, можна спробувати фотографувати Місяць з оку-

лярним збільшенням. Окуляр телескопа залишається, а фотоапарат, із якого вигвинчений об'єктив, кріпиться до окулярної частини перехідною трубкою або іншим пристроєм, що забезпечує жорстке кріплення. Після збирання конструкції необхідно урівноважити телескоп.

Розмір зображення залежить від відстані між окуляром і апаратом, а фокусування здійснюється обертанням окуляра, як і при спостереженні очом. Розмір зображення можна вибрати достатньо великим, але тоді і витримка буде великою. Взагалі при зйомках з окулярним збільшенням витримки вже вимірюються секундами, тому і потрібний годинниковий механізм, причому якісний, який забезпечує плавне ведення телескопа. Певна річ, необхідно зробити пробні знімки.

Фотографування Місяця цифровою камерою. Повернемось до рис. 1.28. Зверніть увагу на те, що пучки променів, що йдуть з окуляра до ока, перетинаються на зіниці ока. Якщо замість ока тут буде об'єктив камери, він побудує збільшене зображення у своїй фокальній площині. Спостерігач на екрані камери побачить саме те, що буде знято. Зазначимо, що камера повинна мати достатню роздільну здатність, а об'єктив телескопа має бути не дуже малим, щоб забезпечити достатню яскравість зображення. Окуляр телескопа повинен давати невелике збільшення. І окуляр, і об'єктив камери в цьому випадку треба сфокусувати на «безкінечність». Отже, камера повинна дозволити вручну встановлювати фокус і тривалість експозиції.

Фотографувати Місяць (і взагалі небесні світила) краще всього з відкритого майданчика або з балкона. Необхідно враховувати, що ми спостерігаємо крізь земну атмосферу, яка рідко буває спокійною. Тому не слід фотографувати Місяць, коли він низько над горизонтом або невисоко над дахом сусіднього будинку. Не треба фотографувати з балкона вздовж стіни, а також із квартири через відчинене вікно. У всіх цих випадках повітряні струмені розмиють зображення деталей.

Цікаво отримати серію знімків Місяця у різних фазах. Знімки у головному фокусі потребують збільшення. Гарна цифрова камера дозволяє це зробити зразу ж завдяки *цифровому зуму*, про який ми вже говорили. Навіть якщо використовувати в якості об'єктива трубу ЗРТ-452, збільшений знімок показує багато деталей, особливо поблизу термінатора. Добре видні кратери діаметром в 40 км і більше. Ще більш подробиць виходить на знімках, отриманих з окулярним збільшенням. При цьому треба забезпечити жорсткість кріплення апарата до телескопа і плавність ходу годинникового механізму, і, певна річ, фотографувати при стійкому стані атмосфери.

Визначення висоти місячних гір. Перш за все необхідно сказати декілька слів про місячні координати, які називаються селенографічними. *Селенографічна широта b* відраховується від місячного екватора, на північ від якого (в бік Моря Дощів і Моря Ясності) вона вважається додатною, а до півдня (в бік кратера Тихо) — від'ємною. *Селенографічна довгота l* відраховується від початкового меридіана. У першому наближенні можна вважати, що екватор і початковий меридіан перетинаються в центрі видимого диска Місяця. А щоб провести їх точно, необхідно врахувати лібрацію. На схід (колишній захід!) від початкового меридіана (в бік Моря Криз) довготи будуть додатними, а на захід (в бік Океану Бур) — від'ємними.

Висота місячних гір завжди визначається від рівня прилеглої рівнини. Для знаходження висоти нерівностей, розташованих поблизу центра диска, існують два досить простих методи, що засновані на спостереженнях, які виконуються в ті дні, коли через дану деталь проходить лінія термінатора.

1. *Метод довжини тіні.* Знаходячись поблизу термінатора, будь-яка височина відкидає в бік останнього тінь, котра тим довше, чим ближче термінатор. Довжина тіні d визначається лінійною висотою H гори і кутовою висотою h Сонця над горизонтом для даної точки поверхні Місяця:

$$d = Hctgh.$$

Це співвідношення використовують так. Ділянку місячної поверхні, що вміщує височину, її тінь, ряд великих сусідніх деталей і прилеглу до всього цього ділянку термінатора, ретельно замальовують, причому особлива увага звертається на точну передачу відносних розмірів. Потім за нанесеними деталями, наприклад за поперечниками кратерів, знаходять масштаб рисунків (тобто число кілометрів місячної поверхні, яке відповідає одному міліметру на рисунку). Довжина тіні d вимірюється у міліметрах, котрі потім за масштабом переводяться в кілометри. Для визначення висоти Сонця найпростіше нанести ділянку термінатора на карту Місяця і, користуючись сіткою меридіанів, що вже є на карті, знайти кутову відстань гори від лінії термінатора у градусах. Легко зрозуміти, що ця відстань і є висотою Сонця. Після цього висота гори H , виражена в кілометрах, знаходиться за формулою

$$H = dtgh.$$

Цей спосіб можна застосовувати тільки в центральних частинах диска, оскільки ближче до його краю виміряна довжина гір буде скорочена перспективою, що потребує більш складних вимірювань та обчислень (див. нижче).

2. *Метод появи та зникнення вершин за лінією термінатора.* Окремі гірські вершини і гребні гірських хребтів освітлюються Сонцем вже тоді, коли оточуюча рівнина не освітлена. Завдяки цьому вони з'являються у вигляді світлих точок і рисок за лінією термінатора на фоні темної частини диска Місяця. Задача спостережень полягає в тому, щоб знайти ту кутову відстань γ від лінії термінатора, на якій з'являється або зникає вершина. Зрозуміло, що помітити зникнення легше, ніж появу. Спостерігач повинен у відповідний момент ретельно нанести лінію термінатора на місячну карту.

Потім циркулем вимірюється відстань від деталі до термінатора, яка за допомогою сітки, що є на карті, виражається в градусах. Це і буде величина γ . Розрахунок висоти проводиться за формулою

$$H = \frac{1}{2} R \operatorname{tg}^2 \gamma,$$

де R — радіус Місяця, який дорівнює 1738 км.

3. Тепер коротко розглянемо *випадок*, коли *вершина знаходиться далеко від центра*, але *і не близько до краю*. Будемо також нехтувати впливом лібрації. Адже ми не претендуємо на велику точність наших визначень.

Нам знадобиться довгота термінатора λ_T на момент спостережень. Її визначимо за допомогою координатної сітки карти Місяця. Так само визначимо довготу нашої гори λ . Нам треба визначити довжину тіні, точніше, її проекції на картинну площину вздовж паралелі. Причому, якщо ми визначаємо висоту вала кратера, ретельно малюємо цей кратер (або отримуємо якісний його знімок) і визначаємо довжину тіні SM' відносно великої осі зображення кратера, котра не створюється проекцією (рис. 4.18) і може бути виміряна в кілометрах згідно до масштабу карти. Тоді висота H дорівнюватиме:

$$H = SM' \frac{\sin(\lambda - \lambda_T)}{\cos \lambda_T}.$$

Візуальні оцінки яскравості деталей місячної поверхні. Однією із доступних задач є визначення відношення яскравостей різних утворень місячної поверхні в умовній десятибальній шкалі. Такі оцінки можна

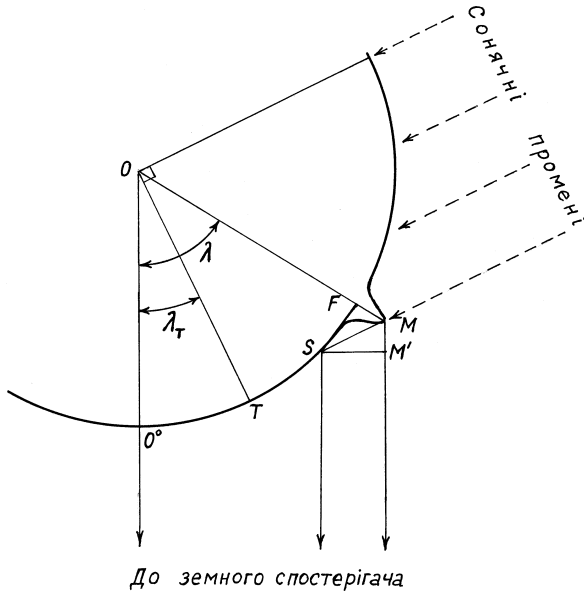


Рис. 4.18. До визначення висоти місячних гір

проводити тільки в дні повні і при порівняно слабких збільшеннях, а саме таких, при яких весь місячний диск, або хоча б його більша частина, вміщується в поле зору телескопа. Список об'єктів місячної поверхні, що визначають бали шкали яскравостей, наведений в таблиці.

Шкала балів яскравості

Бал яскравості	Об'єкти	
	Основні	Додаткові
1,0	Дно Грімальді, Річчіолі	
1,5	Дно Бошковича	
2,0	Дно Юлія Цезаря, Ендиміона	
2,5	Дно Пітата, Марія	Дно Вітрувія
3,0	Дно Тарунція, Плінія, Теофіла і Меркатора	
3,5	Дно Архімеда і Мерсенна	
4,0	Дно Птолемея, Манілія, Геріке	
4,5	—	околи Аристілла
5,0	Вал Араго, Ландсберга, Булліальда, околи Кеплера	околи Архімеда

Бал яскравості	Об'єкти	
	Основні	Додаткові
5,5	Вал Пікара, Тимохаріса; промені Коперника	
6,0	Вал Макробія, Канта, Бесселя	
6,5	–	Вал Лангрена, Теетета
7,0		Вал Кеплера
7,5	–	Вал Евкліда, Укерта і Гортензія
8,0	Вал Годена, Коперника і Бода	
8,5	Вал Прокла	
9,0	–	Вал Цензорія і Діонісія
9,5	Внутрішність Аристарха	
10,0	Центральна гірка Аристарха	

Приступаючи до спостережень, треба, перш за все, ретельно вивчити всі об'єкти, які перелічені в таблиці, знайти їх спочатку на карті, потім на добрих фотографіях Місяця і, нарешті, на місячному диску в натурі. Корисно пам'ятати не тільки розташування і назву кожного об'єкта, але і відповідний йому бал шкали.

Саме спостереження полягає в тому, що, склавши заздалегідь список об'єктів, для яких будуть проводитись спостереження яскравості, знаходять ці об'єкти спочатку на карті, а потім на Місяці. Зробити це не завжди просто, тому що багато деталей рельєфу, як, наприклад, окремі вершини, дрібні кратери і т. п., які легко відшукати при косому освітленні, в повний Місяць розпізнаються з великими зусиллями. Далі кожна деталь порівнюється з об'єктами шкали, і серед останніх знаходять ті об'єкти, котрі за яскравістю здаються однаковими з деталлю, що вивчається. Бал шкали, що відповідає цим об'єктам, і буде виражати яскравість утворення, яке вивчається. При цьому може статися, що однакові об'єкти будуть мати різні значення бала яскравості. Наприклад, та ж сама деталь може вважатися спостерігачеві однаковою за яскравістю з об'єктами, для котрих в таблиці вказані бали 4.5, 5.0 і 5.5. В цьому випадку необхідно виписати всі отримані оцінки і взяти їхнє середнє арифметичне, тобто у наведеному прикладі 5.0. Якщо спостерігач ставить своїм завданням вивчення яскравості дуже малих об'єктів, котрих при слабкому збільшенні не видно, то доводиться уживати більше збільшення, в результаті чого, як наслідок, в поле зору вміщується лише невелика частина місячної поверхні. Таким чином, всі або багато об'єктів, наведених в таблиці, виявляють-

ся поза полем зору, і порівняння з ними стає неможливим. В цьому випадку в околі об'єктів, що вивчаються, вибирають ряд крупних утворень приблизно однакової з ними яскравості, і для них шляхом послідовного порівняння з об'єктами шкали при малому збільшенні знаходять значення балу. Яскравість дрібних утворень виходить, таким чином, шляхом порівняння з цими допоміжними об'єктами.

За наявності цифрової камери слід візуальні оцінки доповнювати зйомками. Робота буде мати цінність в тому випадку, коли програма спостережень вибирається цілеспрямовано. Можна, наприклад, поставити задачу складання каталогу яскравостей валів всіх кратерів, включаючи найдрібніші, або центральних гірок кратерів, або їхнього дна.

Моря тільки з першого погляду здаються однорідними за своєю яскравістю. Уважне вивчення кожного з них виявляє складний візерунок із плям різноманітної яскравості. Складання карт таких плям і визначення балів їхньої яскравості — також цікава задача.

Яскравість деяких деталей на Місяці, виявляється, зазнає змін, про що докладніше ми зараз скажемо.

4.4. РЕЄСТРАЦІЯ КОРОТКОЧАСНИХ ЯВИЩ НА МІСЯЦІ

Тривалий час уважали, що Місяць — це своєрідний мертвий світ, в якому не спостерігається (принаймні в наш час) ніяких змін. Проте це не зовсім так. Наведемо два приклади. У 1878 р. німецький астроном *Йоганн Шмідт* (1825–1884), який спостерігав за Місяцем з 14 років і займався цим усе життя, опублікував великий атлас Місяця, позначивши на ньому 32856 кратерів. Цей учений одного разу замальовував кратер Ліннея, який чітко виділявся на тлі місячного Моря Ясності. Однак коли через 20 років Шмідт удруге замальовував ту ж ділянку Місяця, то на місці згаданого кратера діаметром близько 10 км, який відкидав добре помітну чорну тінь, було видно лише нечітко окреслену світлу пляму, сам же кратер зник! Як вважають, його залила лава, що піднялася з надр Місяця.

У листопаді 1958 р. М. О. Козирев та В. І. Єзерський з Кримської Астрофізичної обсерваторії отримали спектрограму випромінювання кратера Альфонс у той момент, коли в ньому з'явилася червонувата пляма. У спектрі виявили смуги молекул вуглецю, які звичайно бувають, якщо цей газ розігрітий до температури близько 2000 К.

Загалом же, як неодноразово зазначали дослідники Місяця, у деяких місцях на його поверхні змінюється забарвлення, з'являються червонуваті плями, змінюється чіткість деталей, навіть їхній вигляд. Таких випадків зареєстровано вже багато сотень, виявлено деякі закономірності та «найактивніші» об'єкти. Зокрема, оптичні явища в кратері Аристарх зареєстровано понад 100 разів, у цирка Платон — понад 300 разів, у Морі Криз — 16 разів. Як вважають, найбільш активні — молоді великі кратери. Якщо це так, що причиною цих явищ могли б бути внутрішні процеси. Щоправда, припускають, що поява червонуватих плям зумовлена люмінесценцією — вимушеним світінням деяких речовин під дією частинок сонячного вітру. У середньому тривалість цих явищ не перевищує 15 хвилин.

Виявили також, що частота появи короткочасних змін залежить від положення Місяця на його орбіті, а, отже, від його відстані до Землі: майже четверта частина всіх зауважених випадків припадає на триденний інтервал, середній момент якого відповідає переходові Місяця через перигей його орбіти (отже, коли його відстань до Землі є найменшою).

У 1967 р. створено Міжнародну мережу зі 147 станцій у 31 країні, розроблено спеціальну програму спостережень з метою реєстрації короткочасних місячних явищ. Розподіл активних зон на місячній поверхні наведено у наступній таблиці. Згідно з інструкцією явищем слід уважати: зміну кольору чи яскравості якоїсь місячної ділянки чи деталі; помутніння обрисів місячних деталей (але не внаслідок помутніння земної атмосфери), появу і зникнення світлих чи темних плям, яких раніше не простежували. Нижче в таблиці наведений перелік об'єктів, де спостерігалися короткочасні явища.

Короткочасні явища на Місяці

Об'єкт	Явище
Альфонс	Зміна вигляду темної плями на дні, зміни яскравості і кольору центральної гірки
Аристарх	Світіння і спалахи в тіні, зміни яскравості і кольору, помутніння
Архімед	Мерехтливі точки на дні
Атлас	Зміна вигляду плям на дні з часом, а також при затемненнях
Віета	Зміни плям на південь від кратера
Гассенді	Світіння під час затемнень, рухливі явища
Годен і Аргіппа	Світіння у попелястому світлі та при затемненнях

Об'єкт	Явище
Грімальді	Зміни у плямах на дні під час затемнень, мерехтливі точки
Ератосфен	Зміни у темних плямах на дні
Кеплер	Світіння під час затемнень, помутніння
Коперник	Збільшення яскравості, світіння у попелястому світлі та під час затемнень
Лінней (на заході Моря Ясності)	Збільшення світлої плями при затемненнях
Манлій та Менелай	Світіння у попелястому світлі, спалахи під час затемнень
Мерсенн	Помутніння, «хмари»
Мессьє (у центрі Моря Родючості)	Помутніння
Море Спокою	Рухливі явища
Пікар	Збільшення яскравості, помутніння
Платон	Яскраві плями на дні, світіння у попелястому світлі, спалахи під час затемнень
Пліній	Світіння в тіні
Посідоній	Помутніння
Прокл	Яскраве світіння при затемненнях
Річчіолі	Зміни темних плям з часом, а також при затемненнях
Тенеріф (гора на південний захід від Платона)	Світіння у попелястому світлі
Тихо	Під час затемнень — зміни темного кільця та світіння променів
Тріщина Гігіна (на північний схід від Триснеккера)	Зміни вигляду темних плям

Звичайно, слід пам'ятати, що ці явища все ж дуже рідкісні, а тому помітити їх можна лише під час тривалих спостережень. Той, хто береться за цю роботу, повинен вибрати декілька «підозрілих» об'єктів і систематично переглядати їх кожного ясного вечора (ночі) по декілька разів, замальовуючи чи фотографуючи (краще і те, і інше) ці об'єкти.

Якщо спостереження успішні, то про них слід повідомити Астрономічну обсерваторію Київського університету (Київ-31, вул. Обсерваторна, 3), зазначивши час і явище. Детальніший опис результатів спостережень треба надіслати листом на цю ж адресу.

Очевидно, що саме ці спостереження потребують достатньо вільного часу, отже, під час навчального року учням та студентам

не-астрономам навряд чи вдасться цим займатися. Однак невеличка група ентузіастів змогла б вести ці спостереження систематично. Це дуже важливо, оскільки проблема короточасних явищ на Місяці дуже «заросла» помилками спостерігачів, а то й просто вигадками.

4.5. СПОСТЕРЕЖЕННЯ МІСЯЧНИХ ЗАТЕМНЕНЬ

З теорії випливає, що в середньому щороку трапляється 1,6 місячних затемнень. Однак у деякі роки їх не буває зовсім, а найбільша кількість у році — три. Нагадаємо деякі елементи цієї теорії. Земля, як непрозоре небесне тіло, відкидає у протилежний від Сонця бік тінь, конус якої простягається на відстань близько 1 400 000 км. Середній радіус тіні Землі, в яку може зануритися Місяць, становить 42'. Отже, у її переріз диск Місяця вкладається 2,5 рази. Під час повного місячного затемнення Місяць проходить через тінь Землі (рис. 4.19). Повне місячне затемнення може тривати від одної миті до 1 год. 48 хв. (якщо центр диска Місяця сумішався з центром тіні), а разом із фазою часткового затемнення (1 год. під час входження і стільки ж під час виходу з тіні) — до 3 год. 48 хв.

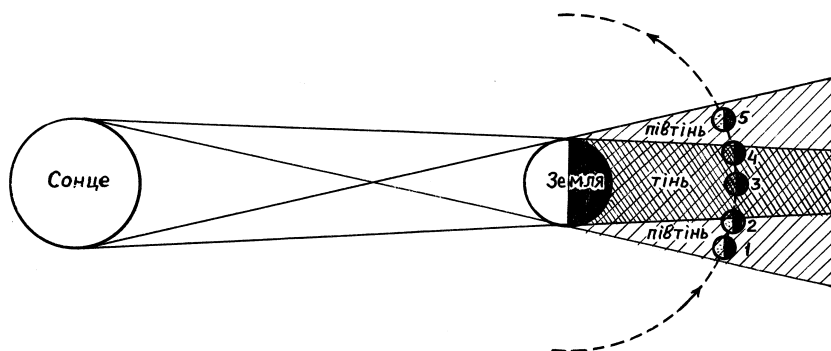


Рис. 4.19. Схема місячного затемнення

Якби площина місячної орбіти збігалася з площиною екліптики, то як сонячні, так і місячні затемнення траплялися б щомісяця: сонячні під час кожного нового місяця, місячні — під час повні. Однак, оскільки площина орбіти Місяця нахилена до площини екліптики під

кутом $i = 5^{\circ}09'$, то, зокрема, настання затемнення Місяця залежить від відстані центра диска Місяця до вузла місячної орбіти (рис. 4.20):
 якщо $\Delta\lambda < 4,4^{\circ}$, то затемнення обов'язково буде повним;
 при $4,4^{\circ} < \Delta\lambda < 5,6^{\circ}$ повне затемнення можливе;
 якщо $5,6^{\circ} < \Delta\lambda < 10^{\circ}$, часткове затемнення обов'язково буде;
 при $\Delta\lambda > 12^{\circ}$ місячне затемнення неможливе.
 Аналогічно виглядає ситуація біля протилежного вузла.

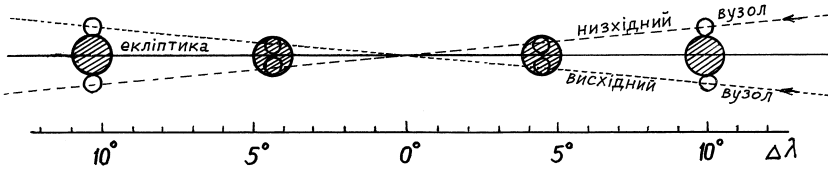


Рис. 4.20. Положення Місяця відносно тіні Землі у повні

У цьому й полягає таємниця, чому в окремі роки затемнення Місяця не буває. Адже, скажімо, якщо тінь Землі проходить через низхідний вузол, то це значить, що диск Сонця пересувається по екліптиці через протилежний, висхідний вузол. Як бачимо, ширина усієї зони місячних затемнень $2\Delta\lambda = 24^{\circ}$. Сонце проходить таку дугу екліптики за 24 доби. Але повня може настати, наприклад, за три доби до входження Сонця у згадану зону, і затемнення не буде. Коли ж Місяць черговий раз буде в протистоянні з Сонцем, то воно вже вийде із зони місячних затемнень. Така ситуація й біля протилежного вузла місячної орбіти.

Все ж за багатівікову історію нашої науки повні затемнення Місяця спостерігалися безліч разів. Однак це явище і досі привертає до себе увагу вчених, бо кожного разу є деякі особливості, яких не було раніше. Зокрема, у ритмі з циклом сонячної активності істотно змінюється забарвлення тіні, її густина. Протягом двох років після мінімуму сонячної активності земна тінь дуже темна, як, наприклад, 10 грудня 2011 р., тоді як упродовж трьох-чотирьох років перед наступним мінімумом вона інтенсивно забарвлена у червоний або оранжево-червоний колір, як було, приміром, 4 травня 2004 р. Під час мінімуму яскравість затемнень зменшується.

Очевидно, що форма краю земної тіні на Місяці, забарвлення тіні, видимість різних деталей місячної поверхні певним чином характеризують стан земної атмосфери, зокрема її верхніх шарів. Тому уважне спостереження за всіма фазами місячного затемнення і реєстрація

усіх цих особливостей можуть бути корисними для геофізики, навіть у тому випадку, коли ці спостереження проводили аматори астрономії. Але ці спостереження потребують певної кваліфікації, і ми тут обмежимося короткими вказівками.

Під час місячного затемнення можна оцінювати ослаблення світла Місяця і його забарвлення, реєструвати моменти покриття утворів на Місяці земною тінню, «полювати» на короткочасні явища. У першому випадку вимірюють хоча б на око ступінь послаблення окремих ділянок місячної поверхні. Спостереження проводять за допомогою бінокля. Оглядаючи диск з інтервалом 5 хвилин, фіксують видимість або невидимість деталей. Докладна інструкція із картою та списком деталей є у книзі «Астрономический календарь. Постоянная часть», М., різні роки видання.

Окремо виконують візуальну оцінку загальної яскравості і кольору Місяця в затемненні за шкалою французького астронома Андре Данжона:

0 — затемнення дуже темне, у середині затемнення Місяця майже або зовсім не видно;

1 — затемнення темне, сіре, деталей на місячній поверхні зовсім не видно;

2 — затемнення темно-червоне або рудувате, поблизу центра тіні є темніша зона, видно деякі деталі;

3 — затемнення червоне, цегляного кольору, земна тіннь оточена сіриватою чи жовтуватою облямівкою;

4 — затемнення мідно-червоне, дуже яскраве, зовнішня зона світла, голуба.

Остаточна мета реєстрації моментів покриття місячних об'єктів земною тінню — визначити перевищення розмірів видимої земної тіні над її розмірами, які обчислюють геометрично (у припущенні, що Земля не має атмосфери), а також визначити стиск еліпса тіні. Це дає змогу уточнити наші уявлення про будову верхніх шарів земної атмосфери. За докладною інформацією відсилаємо читача до згаданої «Постоянной части ...». Спостерігач завчасно повинен ознайомитися з об'єктами, точно запам'ятати їхній вигляд і взаємне розташування. Для спостережень використовують телескоп і труби з вхідним отвором $D = 75\text{--}100$ мм при збільшенні в 40–100 разів. Моменти часу реєструють з точністю до 1 с, що дуже непросто, оскільки тіннь нерізка.

Відомості про тінньові місячні затемнення з 2001 по 2040 рік наведено у табл. 7-Б Додатку.

4.6. РУХ ШТУЧНИХ СУПУТНИКІВ ЗЕМЛІ

Після запуску 4 жовтня 1957 р. в СРСР першого штучного супутника Землі (ШСЗ) розпочався бурхливий розвиток нових галузей промисловості, нових галузей науки. ШСЗ та орбітальні космічні лабораторії допомагають розв'язувати цілу низку проблем, які виникли перед землею цивілізацією на шляху до прогресу. Ось декілька прикладів.

Космічне землезнавство. Тепер кожен, хто має комп'ютер із підключеним Інтернетом, може «мандрувати» майже всюди, розглядаючи до подробиць деталі місцевості на супутникових знімках (програмний комплекс Google Earth). Далі, за допомогою дослідження поверхні Землі в окремих спектральних діапазонах оцінюють, зокрема, товщину снігового покриву і таким чином наявні запаси вологи, вивчають склад і стан ґрунтів, прогнозують майбутній урожай, вивчають райони захворювань рослин, виявляють спрацьованість шосейних доріг і злітно-посадочних смуг на аеродромах. Визначають розміри і напрями руху пожеж, забруднення атмосфери. Уточнюють географічні карти. Розшуковують корисні копалини.

Навігація. Система глобального позиціонування (GPS) дає змогу будь-кому, хто має відповідний пристрій, і, перш за все, штурманові корабля або літака, визначити своє місцезнаходження з похибкою менше метра. Водночас капітан корабля може отримати інформацію про те, де перебувають його сусіди, куди і з якою швидкістю вони рухаються. Передача на берег через ШСЗ усієї документації, що стосується транспортних вантажів, значно скорочує час розвантажування і простою суден. ШСЗ значно полегшують керування повітряним рухом, допомагають надавати кожному з повітряних лайнерів коридор польоту та забезпечувати посадку.

Метеорологія. Метеорологічні ШСЗ здатні оглядати всю планету і відразу ж передавати потрібну інформацію. Це, зокрема, стосується особливостей хмарного покриву, напряму і швидкості руху циклонів тощо.

Зв'язок. Усі наявні системи наземного зв'язку давно працюють «у кооперації» із супутниками зв'язку. Встановлені на них ретранслятори приймають сигнали з Землі, посилюють їх, змінюючи при цьому частоту й усуваючи побічні шуми, і скеровують до абонентів.

З'ясуємо перше питання, яке тут виникає: чому ШСЗ обертається навколо Землі, а не падає на неї або ж не відлітає у космічні далі? Роз-

глянемо найпростіший випадок, коли орбітою ШСЗ є коло (рис. 4.21). Розуміємо, що на ШСЗ діють *дві сили*. Перша — це сила тяжіння F_g , спрямована до центра Землі, її визначаємо за формулою закону всесвітнього тяжіння Ньютона:

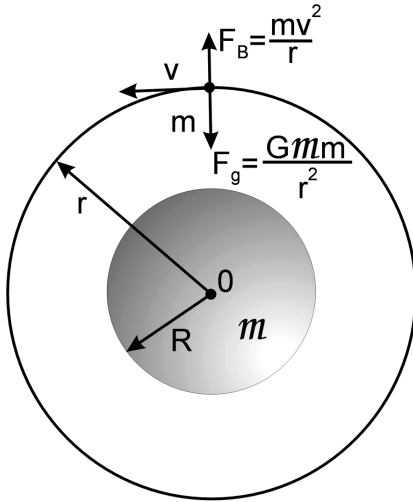


Рис. 4.21. Зіставлення відцентрової сили F_B і сили тяжіння F_g , з якого випливає формула для колової або першої космічної швидкості маси m

$$F_g = G \frac{\mathcal{M}m}{r^2}.$$

Друга — це відцентрова сила F_B , формулу для якої вивів голландський фізик *Христіан Гюйгенс* (1629–1695) ще 1673 р.:

$$F_B = \frac{mv^2}{r},$$

де \mathcal{M} і m — відповідно маса Землі і ШСЗ; r — відстань від ШСЗ до центра Землі; v — швидкість руху ШСЗ; G — гравітаційна стала. Прирівнюючи ці сили, отримуємо вираз для обчислення *першої космічної швидкості*

$$v_k = \sqrt{\frac{G\mathcal{M}}{r}} = 7,91 \sqrt{\frac{R}{R+H}} \text{ км/с},$$

де $r = R + H$, R — радіус Землі; H — висота ШСЗ над її поверхнею. Підставляючи числові дані для G , \mathcal{M} , R (див. табл. 9-Б, 10-Б Додатка) та вважаючи, що $H \approx 0$, отримуємо $v_k \approx 8 \text{ км/с}$

Можна розмірковувати й інакше. Кидаючи якусь річ із усе більшою швидкістю, бачимо, що вона летить далі й далі. Балістична ракета, розігнавшись, при вимкненому двигуні, долає відстань у тисячі кілометрів, описуючи велетенську дугу над *опуклою* поверхнею Землі. Тепер легко зрозуміти, що при достатньо великій швидкості ця дуга стане концентричною із земною поверхнею, а, отже, наша ракета, *постійно падаючи, так і не впаде на Землю*. Ракета почне обертатися навколо Землі. Це настане при першій космічній швидкості.

Звичайно атмосфера Землі є серйозною перешкодою для ШСЗ: вона гальмує його рух. Тому для запуску супутника потрібно, поперше, підняти його на висоту $H \geq 200 \text{ км}$ поза густі шари земної атмо-

сфери і, по-друге, надати йому колову швидкість близько 8 км/с. Якщо швидкість ШСЗ більша, то його орбітою буде еліпс. При $v_k = 11,2$ км/с супутник переборе силу земного тяжіння й полетить у міжпланетний простір. Це так звана *параболічна*, або *друга космічна швидкість*.

Якщо швидкість руху супутника по коловій орбіті відома, що неважно обчислити час T , протягом якого він здійснює повний оберт, проходячи шлях $L = 2\pi r$:

$$T = \frac{2\pi r}{v_k} = 84,4 \sqrt{\left(\frac{R+H}{R}\right)^3} \text{ хв.}$$

Наприклад, якщо $H = 200$ км, то $T = 88$ хв. 25 с, при $H = 500$ км $T = 94$ хв. 32 с. (див. табл. 9-Б Додатка). Якщо висота супутника над поверхнею Землі дорівнює 35 800 км, то його період обертання становить 23 год. 56 хв. 04 с. За такий же час Земля здійснює повний оберт відносно зір. Тому якщо орбіта такого супутника лежить у площині земного екватора, то цей супутник, обертаючись навколо Землі з тією ж кутовою швидкістю, з якою Земля обертається навколо своєї осі, 15° за годину, «віситиме нерухомо» над деякою точкою екватора. Таку орбіту називають *стаціонарною*, а сам супутник — *геостаціонарним*.

Якщо супутник рухається по еліптичній орбіті, то її найближчу до Землі точку називають *перигеєм*, найдальшу — *апогеєм* (рис. 4.22), тобто для опису орбіти ШСЗ використовують ту ж термінологію, що й у випадку природного супутника Землі — Місяця. Однак орієнтацію площини орбіти ШСЗ задають відносно земного екватора. Для першого ШСЗ цей кут нахилу становив $i = 65^\circ$. Станції «Салют» рухались по орбітах, для яких кут нахилу до площини земного екватора $i \approx 52^\circ$.

Відповімо на питання: якщо сьогодні супутник пройшов о t_0 год., скажімо, через зеніт, то *коли і де* його буде видно завтра, післязавтра і т. д.?

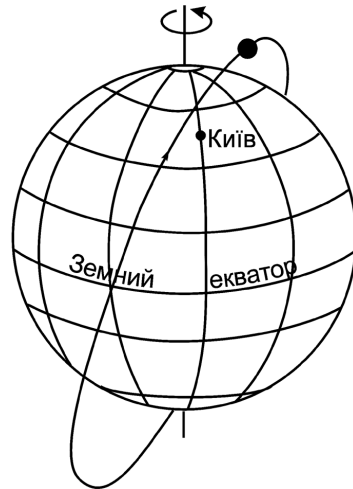


Рис. 4.22. Схема орбіти штучного супутника Землі, запущеного під кутом $i = 65^\circ$ до площини земного екватора

Коли супутник робить витки на орбіті, Земля «під ним» безупинно обертається навколо своєї осі. На поверхні Землі можна накреслити проекцію орбіти супутника — місце точок, з яких його було видно в зеніті (рис. 4.23). Унаслідок видимого руху Сонця по екліптиці на 1° за добу Земля відносно зір повертається за цей час на 361° . За 1 хвилину Земля повернеться на кут $361^\circ/1440$ (у добі 1440 хвилин), а за період обертання супутника T — на кут $\psi = 0,25^\circ T$. Зокрема, якщо $T = 89$ хв., то $\psi = 22,3^\circ$, при $T = 92$ хв. $\psi = 23,1^\circ$.

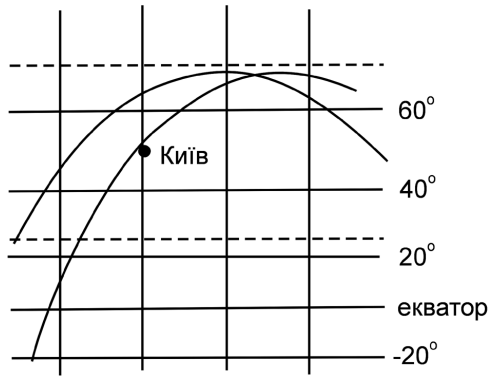


Рис. 4.23. Проекції траєкторії супутника на земну поверхню при $i = 65^\circ$

Крім того, оскільки Земля не є правильною кулею, а дещо сплюснута біля полюсів, то за один оберт супутника площина його орбіти повертається назустріч рухові ШСЗ на кут $\omega = 0,6^\circ \left(\frac{R}{R+H} \right)^2 \cos i$, де i — кут нахилу площині орбіти супутника до площини земного екватора. Якщо $H \ll R$ та $i \approx 52^\circ$, то $\omega \approx 0,37^\circ$. У цілому за один оберт Земля відносно площини руху супутника повернеться на кут $\Phi = \psi + \omega = 0,25^\circ T + 0,6^\circ \cos i$. На стільки ж зміститься на захід проекція траєкторії супутника на поверхню Землі.

Нехай φ — географічна широта спостерігача. Очевидно, що при $\varphi < i$ супутник проходить над спостерігачем, рухаючись з південного заходу на північний схід (так званий *висхідний виток*) або з північного заходу на південний схід (*низхідний виток*). Якщо ж $\varphi > i$, то спостерігач бачить супутник лише у південній частині неба.

Період обертання ШСЗ здебільшого несумірний з тривалістю доби. Наприклад, якщо $T = 89$ хв., то $1440:89 = 16,14$. Тобто супутник

здійснив 16 повних обертів (витків) на орбіті за час $89 \times 16 = 1424$ хв. і з'явився над горизонтом на $\Delta t = 1440 - 1424 = 16$ хв. раніше, ніж це було попереднього дня. Наступний 17-й виток був через 89 хв. або на $\Delta t = 89 - 16 = 73$ хв. пізніше, ніж попереднього дня. При висоті супутника $H = 250$ км це проходження вже не буде видно.

Якщо в перший день супутник пройшов через зеніт, то наступного дня 16-й виток він завершить за час, менший від доби. Отже, Земля ще не займе того ж положення відносно зір (і площини орбіти ШСЗ), тому супутник буде видно у південно-східній частині неба. Проекція орбіти ШСЗ зміститься на схід на кут $\Delta l = 361^\circ - 16\Phi$. Наступний, 17-й (тобто $n+1$ -й) виток буде західним. Тут зміщення проекції орбіти ШСЗ на захід (вимір'яне уздовж паралелі спостерігача) становитиме $\Delta l = 17\Phi - 361^\circ$.

Отже, для передбачень появи ШСЗ над горизонтом треба, знаючи його період T , підібрати найближчий східний і західний витки (n та $n+1$), обчислити поправки Δt та Δl і додати їх до відповідних значень моменту проходження t_0 і довготи проекції орбіти ШСЗ на паралель спостерігача l_0 нинішнього дня:

$$t = t_0 + \Delta t, \quad l = l_0 + \Delta l.$$

Поправки Δt і Δl зручно обчислити наперед для цілого набору періодів T і висот H за формулами:
для східного витка

$$\Delta t = Tn - 1440 \text{ хв.};$$

$$\Delta l = (0,25^\circ T + 0,6^\circ \cos i)n - 361^\circ;$$

для західного витка

$$\Delta t = T(n+1) - 1440 \text{ хв.};$$

$$\Delta l = (0,25^\circ T + 0,6^\circ \cos i)(n+1) - 361^\circ$$

і зобразити їх графічно (рис. 4.24).

Знаючи висоту ШСЗ над поверхнею Землі H , а також відносну довготу підсупутникової точки на паралелі спостерігача l та пам'ятаючи, що 1° дуги цього малого кола при широті ϕ відповідає довжина $111,1 \cos \phi$ км (при $\phi = 50^\circ$ це дає 71,4 км на один градус довготи), неважко визначити орієнтовну висоту ШСЗ над горизонтом при заданому l . Однак частіше обчислюють висоту h_k , що відповідає найкоротшій при заданому l відстані до ШСЗ, а також висоту h_m у напрямі географічного меридіана (рис. 4.25, 4.26).

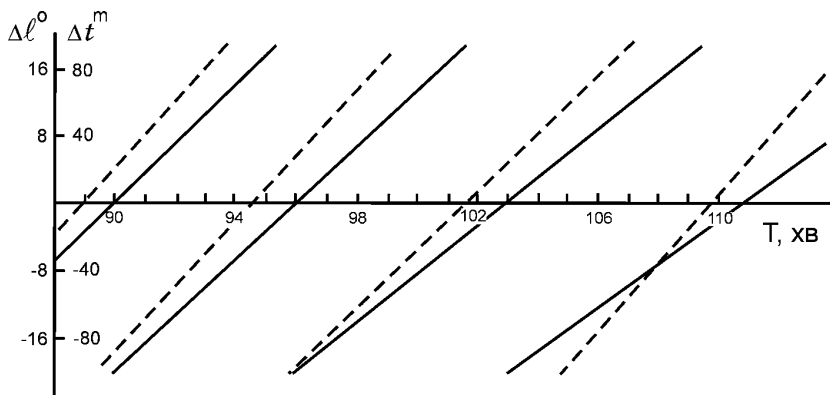


Рис. 4.24. Графік поправок Δt (суцільна лінія) і Δl (штрихова) для обчислення моментів і місця проходження ШСЗ при $i = 52^\circ$

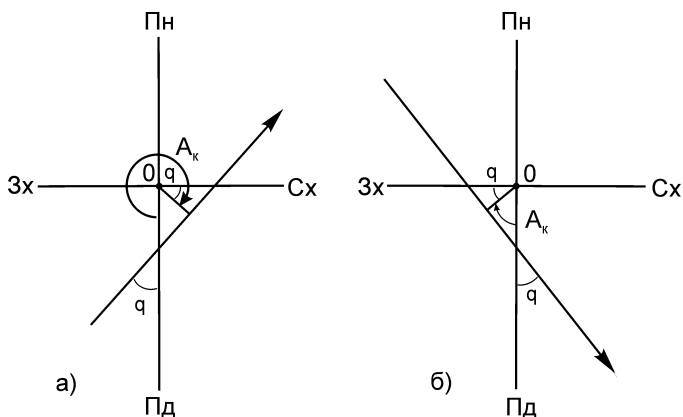


Рис. 4.25. Проекція висхідного (а) і низхідного (б) витків ШСЗ на поверхню Землі: O — положення спостерігача, A_k — азимут точки найкоротшої відстані до супутника

Рисунки 4.24–4.26 фактично є розв'язком поставленої задачі. Ось конкретний приклад. 10 вересня супутник, для якого $i = 65^\circ$, мав період $T = 105,17$ хв. та пройшов по висхідному витку $12,4^\circ$ на захід від спостерігача ($l_0 = +12,4^\circ$) о 10-й годині вечора ($t_0 = 22^h00^m$). Відомо, що в північній півкулі розташований перигей його орбіти і на нашій широті його висота над поверхнею Землі $H \approx 250$ км (при зга-

даному періоді, як це видно з табл. 9-Б, середня висота досягає 1000 км). За формулами визначаємо відповідні для цього періоду $\Delta t = -73$ хв. і $\Delta l = -14,6^\circ$. Отже, 11 вересня $l = -2,2^\circ$ (спутник пройде на схід від спостерігача), момент проходження супутника $t = 20^h 47^m$. З графіка висот бачимо, що в азимуті найкоротшої відстані його висота над горизонтом $h_k = 65^\circ$, тоді як висота у меридіані $h_m = 50^\circ$.

Може йтися про спостереження об'єкта, період обертання якого навколо Землі T з часом зменшується (скажімо, це остання ступінь ракетиносія, що вивела ШСЗ на орбіту). У цьому випадку, якщо

відомо, як змінювався цей період T хоча б протягом тижня, можна орієнтовно прогнозувати цю зміну на наступні тиждень-два й обчислювати моменти проходження об'єкта над горизонтом спостерігача на згаданий проміжок часу. Такий прогноз іноді є дуже потрібним, якщо йдеться про об'єкт значної маси, що не встигне розпастися на частини і згоріти в атмосфері Землі. Подібні небезпечні об'єкти звичайно заздалегідь розпочинають спостерігати спеціалісти, щоб якнайточніше обчислити місце й час очікуваного падіння.

До речі, для спостерігача, що перебуває на висоті H ($\ll R_\oplus$) над поверхнею Землі, дальність видимого горизонту (з урахуванням рефракції) $d \approx 3,8\sqrt{H}$ км (H у метрах). Отже, супутник, що є на висоті $H \approx 200$ км, видно з відстані $d \approx 1700$ км (якщо лише він не зайшов у тінь Землі).

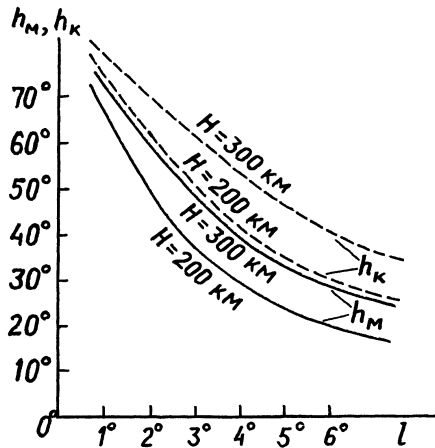


Рис. 4.26. Значення висоти ШСЗ у меридіані h_m (суцільна лінія) і найкоротшій відстані h_k (пунктир) при $i = 65^\circ$ залежно від кутової відстані l підсупутникової точки від спостерігача при $H = 200$ (а) і 300 (б) км, $\varphi = 49^\circ$

5. ПЛАНЕТИ ТА ЇХНІ СУПУТНИКИ

Серед численних небесних світил, що вивчаються сучасною астрономією, особливе місце займають планети. Всі ми знаємо, що Земля, на якій ми живемо, є планетою, так що планети — тіла, в чомусь схожі на нашу Землю. Але в світі планет ми не зустрінемо навіть двох, цілком схожих одна на одну. Різноманітність фізичних умов на планетах дуже велика. Відстань від Сонця (а, отже, і кількість сонячного тепла, і температура поверхні), розміри, прискорення сили тяжіння на поверхні, орієнтування осі обертання, яка визначає зміну пір року, присутність і склад атмосфери, внутрішня будова і багато інших властивостей різні навіть у восьми великих планет Сонячної системи. Вивчаючи це розмаїття умов, ми можемо глибше пізнати закони розвитку планет і з'ясувати взаємозв'язок між тими чи іншими їхніми властивостями.

У липні 1965 року автоматична міжпланетна станція «Марінер-4» (США) уперше з близької відстані сфотографувала планету Марс. Через рік, у березні 1966 року, «Венера-3» (СРСР) досягла планети Венери.

У 1973—1975 роках отримано якісні фотографії зблизька Юпітера (АМС «Піонер-10», США), Меркурія («Марінер-10», США), поверхні Венери («Венера-9 і 10», СРСР).

І вже справжнім тріумфом стали польоти АМС «Вояджер-1» (США, запуск 05.09.1977 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.), передаючи кожного разу багатющу інформацію про стан поверхні планет та їхніх супутників.

У наступні десятиліття було здійснено так багато космічних місій з дослідження планет, що тільки перелік їх зайняв би не одну сторінку. Так, «Магеллан» у 1989 р. за допомогою радіолокації створив докладну карту Венери. Марс досліджували апарати «Вікінг-1», «Вікінг-2», Pathfinder, Spirit, Opportunity, Фенікс (безпосередньо на його поверхні), Mars Global Surveyor, Mars Odyssey (з навколомарсіанської орбіти). Opportunity працює вже дев'ятий рік (станом на весну 2012

року)! Юпітер вивчав «Галілео» у 1995–2003 рр., причому від станції було відокремлено спускний апарат, котрий увійшов в атмосферу і досліджував її на протязі години, занурившись до глибини 150 км. Влітку 2004 р. апарат «Кассіні» досяг Сатурна і розпочав орбітальний політ навколо планети. Спускний апарат «Пойгенс» відокремився від «Кассіні», 14 січня 2005 р. здійснив м'яку посадку на супутник Сатурна Титан і почав передавати інформацію на Землю. Апарат «Мессенджер», запущений у 2004 році, за 7 років 15 разів облетів навкруг Сонця. При цьому він кілька разів зближувався із Венерою та Меркурієм, і, нарешті, у березні 2011 року вийшов на орбіту навколо самого Меркурія.

Звичайно, жоден наземний телескоп не здатний показати такі подробиці, які бачимо на знімках, зроблених космічними апаратами зблизка. Але наземні телескопи чи, скажімо, космічний телескоп «Хаббл» можна у будь-який момент навести на планету, не витрачаючи роки на політ до неї.

Ми ж тут, вивчаючи планети, можемо з'ясувати особливості руху планет відносно Сонця і на тлі зір, уміти передбачати положення тої чи іншої планети на небі, отримати за допомогою спостережень у невеликий телескоп деяку інформацію про планети та їхні супутники, а також з'ясувати особливості, пов'язані з пілотованими польотами до принаймні найближчих планет Сонячної системи (тривалість польоту, очікування на планеті чи поблизу неї для повернення назад до Землі тощо).

Загальні відомості про планети Сонячної системи наведено в табл. 2-Б Додатка, а схема їхнього руху навколо Сонця показана на рис. 5.1. Зазначимо лише, що найближча до Сонця планета Меркурій перебуває від нього на відстані 0,39 а. о., тоді як найвіддаленіша — Нептун — на відстані 30,06 а. о. (1 астрономічна одиниця — середня відстань Землі від Сонця — становить 149,6 млн км).

Залежно від умов видимості планети можна розділити на *нижні* і *верхні*. До нижніх планет належать Меркурій і Венера. Їхні орбіти розташовані всередині орбіти Землі, і тому в своєму видимому русі по небу вони ніколи не відходять далеко від Сонця. Верхні планети (Марс, Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун) розташовані далі від Сонця, ніж Земля, і тому можуть спостерігатися на будь-якій кутовій відстані від Сонця — до 180° включно.

Відрізнити на небі планету від зорі можна за цілим рядом ознак. Перш за все, планети переміщуються між зорями, однак це перемі-

щення можна помітити, лише проводячи спостереження впродовж кількох ночей. Венеру і Юпітер легко розпізнати, оскільки за блиском вони набагато перевершують найяскравіші зорі. Розпізнавальною ознакою кожної планети є її колір: у Венери він білий, в Марса — червонувато-рудий, у Юпітера — білий, трохи жовтуватий, у Сатурна — жовтуватий.

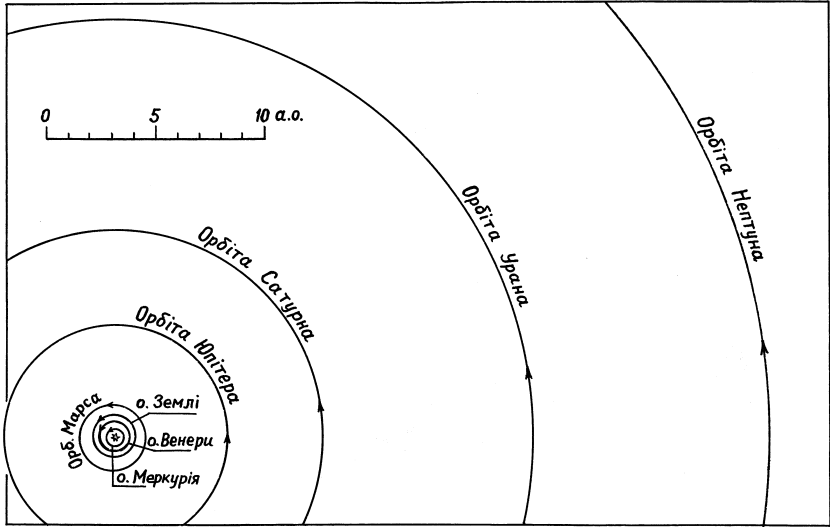


Рис. 5.1. Рух планет навколо Сонця

Відрізнити планету від зорі можна ще завдяки тому, що всі зорі мерехтять, а блиск планет звичайно рівний, майже без мерехтіння. У зір мерехтіння спричиняють коливання повітря, через яке проходять промені на шляху до ока спостерігача. Зорі навіть у найпотужніші телескопи виглядають як точки, а планети мають помітні видимі розміри, оскільки вони знаходяться набагато ближче до нас, ніж зорі. Кожна точка диска планети мерехтить, тобто змінює свій блиск, але при цьому посилення блиску в одній точці супроводжується послабленням його в іншій. В результаті ці мерехтіння окремих точок планетного диска, складаючись, утворюють майже постійну за часом яскравість кожної ділянки, і світло від диска в цілому також надходить незмінним.

5.1. З'ЯСУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РУХУ ПЛАНЕТ ВІДНОСНО СОНЦЯ (КОНФІГУРАЦІЇ ПЛАНЕТ) ТА ЇХНІЙ РУХ НА ТЛІ ЗІР

Це доцільно з'ясувати, використовуючи «Астрономічний календар» (якщо йдеться про теоретичний розгляд, то на будь-який рік) і «Карту зоряного неба», на якій будемо проставляти положення планети з інтервалом у 10 діб, водночас позначаючи положення Сонця на екліптиці на цей же момент. Ще ліпше взяти аркуш у клітинку і, проставивши координатну сітку (α і δ), відмічати на ньому положення як планети, так і Сонця. Після такого попереднього з'ясування особливостей руху планети можна розпочинати спостереження планет (визначення їхніх положень на тлі зір) з тим же інтервалом 10 діб упродовж декількох місяців.

Передовсім зазначимо, що видимі рухи на небі як Сонця, так і Місяця є нерівномірними, однак обидва ці світила переміщуються серед зір лише в одному напрямі — з заходу на схід. Рух планет значно складніший, бо час від часу кожна з них змінює свій «прямий» рух (з заходу на схід) на «протилежний» (тоді планета переміщується серед зір зі сходу на захід), тобто описує петлю (рис. 5.2). Саме тому ці світила давні греки й назвали *планетами* ($\pi\lambda\alpha\nu\eta\tau\eta\varsigma$), тобто світилами, що «блукать».

Ще давні астрономи зауважили, що дві з планет — Меркурій і Венера — віддаляються від Сонця лише у деяких межах: Меркурій — на $17\text{--}29^\circ$, Венера — на $46\text{--}48^\circ$. Це їхня найбільша *елонгація* (від лат. *longus* — далекий).

Видимий рух нижньої планети. Спочатку розглянемо рух планети *відносно Сонця* і характерні її положення — конфігурації, які виникають під час цього руху (рис. 5.3). За вихідний момент візьмемо її найвіддаленіше положення справа від Сонця (у цей час її видно *вранці* серед сходом Сонця). Це *найбільша західна елонгація* (V_2). Швидкість пересування планети серед зір (кутова швидкість, обчислена в градусах за добу) у напрямі з заходу на схід (услід за Сонцем) поступово зростає. Планета наближається до Сонця і ховається в його промінні. Настає *верхнє сполучення* планети з Сонцем (положення V_3).

Через деякий час (для Венери через три місяці) планета з'являється зліва від Сонця на *вечірньому* небі (рухаючись з більшою кутовою швидкістю, планета випередила Сонце). Проте її кутова швидкість поступово зменшується. Досягнувши найбільшого відхилення від Сонця зліва (положення V_4) — найбільшої *східної елонгації*, планета

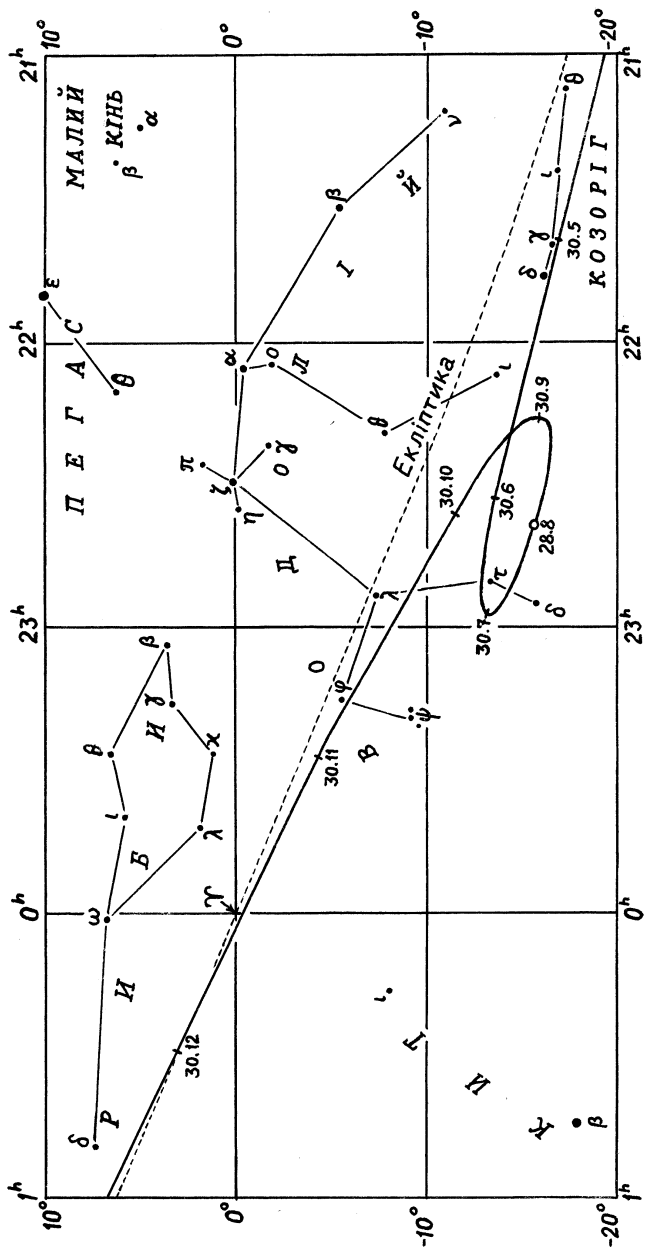


Рис. 5.2. Видимий рух планети Марс серед зір у 2003 році

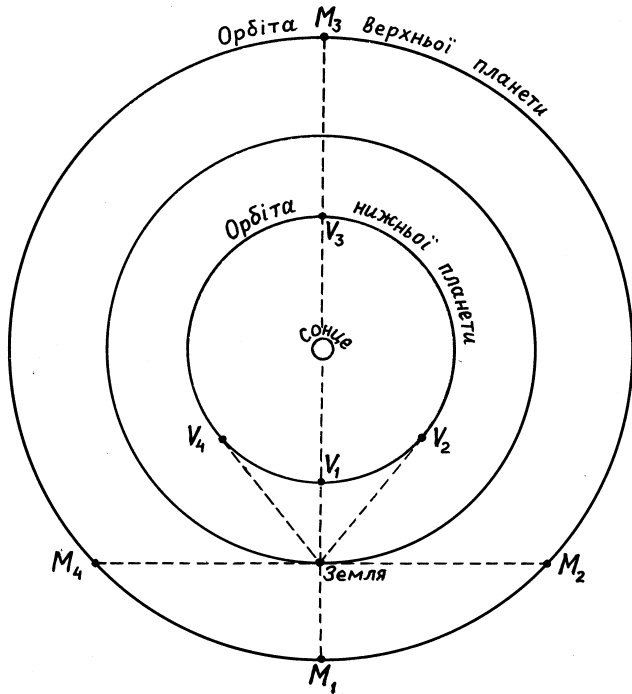


Рис. 5.3. Конфігурації планет

поступово зближується з ним. Невдовзі вона знову зникає у промінні Сонця (положення V_1) — це *нижнє сполучення* планети з Сонцем. Після цього (для Венери період невидимості тут триває приблизно сім діб) вона з'являється справа від Сонця (її видно вранці), її кутова відстань до Сонця в певний момент стає максимальною (положення V_2).

Таким чином змінюється положення нижньої планети *відносно Сонця*. А ось як виглядає її рух серед зір з урахуванням того, що й Сонце рухається. Рух планети вліво відносно Сонця означає, що її кутова швидкість перевищує 1° за добу. Проте після верхнього сполучення з Сонцем швидкість планети поступово зменшується і через деякий час зрівнюється з кутовою швидкістю руху Сонця: тоді обидва світила пересуваються з заходу на схід щодоби на 1° . Саме в цей час кутова відстань планети від Сонця найбільша.

З кожним наступним днем ця кутова швидкість руху планети зменшується, унаслідок чого Сонце поступово наближається до неї.

І коли планета зупиняється серед зір — цей момент називають *стоянням* — і, змінивши напрям, починає рухатися зі сходу на захід, вона швидко йде до Сонця і зникає в його промінні. Аналогічно (дзеркально) планета поводитьсь і тоді, коли перебуває справа від Сонця.

Ось як виглядає рух серед зір планети Венера. Після верхнього сполучення Венера віддаляється від Сонця на найбільшу відстань у середньому через 220 діб, стояння настає ще через 46 діб. У момент стояння Венера перебуває на кутовій відстані від Сонця близько 25° . Отже, від верхнього сполучення до стояння Венера разом з Сонцем проходить понад дві третини небосхилу (кут $\sim 265^\circ$).

Нижнє сполучення Венери з Сонцем настає через 22–24 доби після стояння. У цей час, як уже зазначено, Венера рухається серед зір назустріч Сонцю і проходить поблизу його диска.

Найближчим часом у нижньому сполученні Венера буде 11 січня 2014 р. і 15 серпня 2015 р. Загалом такі відомості наведені в «Астрономічних календарях». Однак для кожної з планет можна приблизно передбачити ці моменти самому.

Іноді планета проходить через видимий диск Сонця. Для Венери це буває у червні й грудні, чергуючись через 8 років, 121,5 року, 8 років і 105,5 року. Ось дати проходжень Венери за XIX–XXII століття: 9 грудня 1874 р., 6 грудня 1882 р., 8 червня 2004 р., 6 червня 2012 р., 11 грудня 2117 р., 8 грудня 2125 р. У Меркурія це трапляється в травні та листопаді через 13 і 7 років, однак між травневим і черговим листопадним проходженнями може минути 3,5 року. Останні були 15 листопада 1999 р., 7 травня 2003 р. і 8 листопада 2006 р., наступні відбудуться 9 травня 2016 р. і 11 листопада 2019 р.

Після нижнього сполучення Венера і Сонце ще протягом 17–20 днів пересуваються на небосхилі у протилежних напрямках: Сонце — на схід, Венера — на захід. Тоді знову настає момент стояння планети, після чого вона починає рухатися на схід. Проте доки швидкість цього руху менша від 1° за добу, Сонце продовжує віддалятися від планети. Приблизно через 52 дні після стояння кутова швидкість руху Венери серед зір дорівнює швидкості Сонця. У цей момент Венера перебуває на найбільшій відстані від Сонця справа (її видно на світанку). Через 584 доби картина руху цієї планети в цілому повторюється, але на тлі зовсім інших сузір'їв.

Синодичний період обертання планети навколо Сонця S — це проміжок часу між двома послідовними однаковими конфігураціями. Для Венери $S = 583,92$ доби і п'ять таких періодів ($5S$) станов-

лять 2919,6 доби. А це з точністю до двох днів дорівнює 8 рокам, бо $365,25 \times 8 = 2922$ доби. Тому через кожні вісім років Венера описує петлі практично серед тих же зір (рис. 5.4).

Видимий рух верхньої планети. Рух верхніх планет — Марса, Юпітера, Сатурна та ін. — також має свої особливості. Кутова швидкість кожної планети завжди менша від 1° за добу. Тому під час їхнього руху на небосхилі Сонце наздоганяє кожну з них, переганяє й, описавши повне коло на екліптиці, знову наздоганяє і т. д.

Під час руху кожної верхньої планети ритмічно настає момент, коли напрями на неї і на Сонце збігаються. Це *сполучення* планети з Сонцем (положення M_3 на рис. 5.3). Зовнішня щодо Землі (її орбіти) планета може перебувати на небосхилі і в точці, протилежній до Сонця (M_1). Тоді настає *протистояння* планети і Сонця. Положення планети на 90° на схід від Сонця (M_4) називається *східною квадратурою*, а на 90° на захід від Сонця (M_2) — *західною квадратурою*.

Перед протистоянням верхня планета, пройшовши деяку відстань у напрямі на схід, зупиняється, а потім рухається у зворотному напрямі — на захід. Посередині цього *назаднього* руху і настає протистояння планети з Сонцем. Згодом, після ще одного стояння, планета знову рухається на схід. Усе це пов'язане з тим, що ми спостерігаємо рух планети з Землі, яка також обертається навколо Сонця (рис. 5.5).

Зокрема, планета Марс через 13 місяців після сполучення з Сонцем, відставши від нього у своєму русі на схід і пройшовши шлях близько 260° уздовж екліптики (насправді дещо вище або нижче від неї), потрапляє до першої *точки стояння*. Протягом наступних 45 днів Марс рухається у зворотному напрямі, проходить шлях близько 19° (посередині цієї дуги планета саме й перебуває у протистоянні з Сонцем), потім, зупинившись, знову розпочинає прямий рух — з заходу на схід. Ще через 10 місяців Сонце наздоганяє планету, і тоді настає чергове сполучення Марса з Сонцем.

Загалом у Меркурія дуга назаднього руху становить близько 13° (тривалість назаднього руху 20–25 діб), у Венери — приблизно 16° (40–42 доби), у Марса — близько 15° (60–80 діб), у Юпітера — понад 10° (120 діб), у Сатурна — приблизно 7° (136 діб). Меркурій займає те ж положення відносно Сонця в *середньому* через 116 земних діб (насправді його синодичний період S коливається в межах від 104 до 132 діб), Венера — через 584 ($S = 584 \pm 7^d$), Марс — 780 ($S = 765^d - 811^d$), Юпітер — 399 ($S = 399 \pm 4^d$), Сатурн — 378 ($S = 378 \pm 2^d$). Нахил орбіти Меркурія 7° , Венери — на $3^\circ 24'$, Марса — на $1^\circ 51'$,

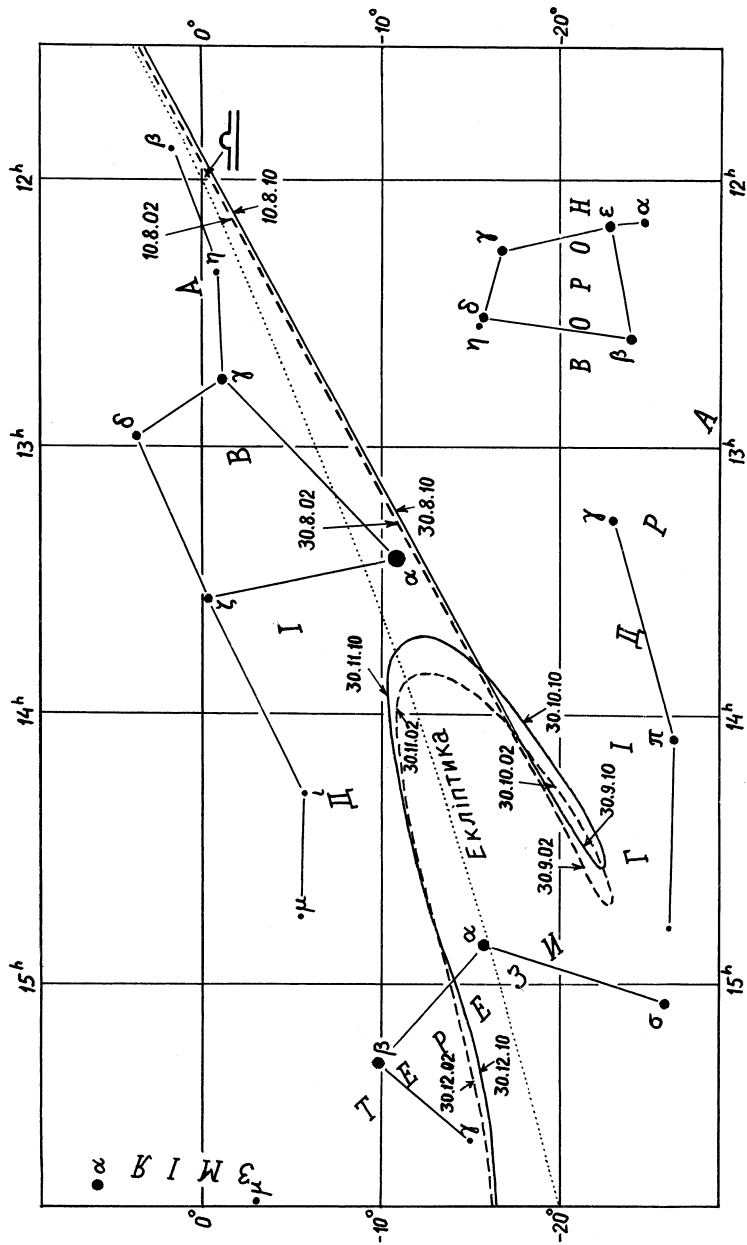


Рис. 5.4. Видимий шлях Венери серед зір у серпні — грудні 2002 р. і через 8 років

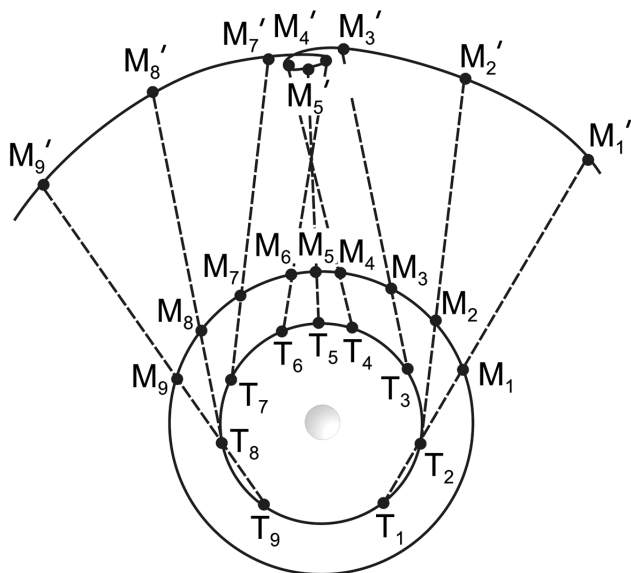


Рис. 5.5. Петлеподібний рух планети — наслідок зміщення як планети, так і Землі разом зі спостерігачем під час їхнього руху навколо Сонця

Юпітера — на $1^{\circ}18'$, Сатурна — на $2^{\circ}29'$. На таку кутову відстань планети відходять від екліптики, якщо дивитись із Сонця. А для земного спостерігача цей кут буває значно більшим, особливо у випадку Венери, відстань від якої до нас у нижньому сполученні у 2,5 рази менша, ніж до Сонця. Тоді Венера може проходити майже на 9° від Сонця. Останній такий випадок був у 2009 році. 24 та 25 березня того року можна було спостерігати *подвійну видимість* Венери: при чистому небі і відкритому горизонті незабаром після заходу Сонця можна було побачити Венеру низько над горизонтом і наступного ранку її можна було спостерігати перед самим сходом Сонця. У 2017 році таке досить рідкісне явище знову відбудеться.

Добрим об'єктом для тривалих спостережень є Юпітер. З кожних 13 місяців він рухається на схід протягом дев'яти, проходячи дугу 40° . Інші чотири місяці Юпітер пересувається на захід, зміщуючись загальом на 10° (рис. 5.6). До тієї ж зорі він повертається через 11,86 року. Завдяки яскравості і порівняно повільному рухові на тлі зір Юпітеру надають перевагу багато народів Сходу. Вони назвали його «царствоною планетою» і ввели 12-річний цикл свого календаря.

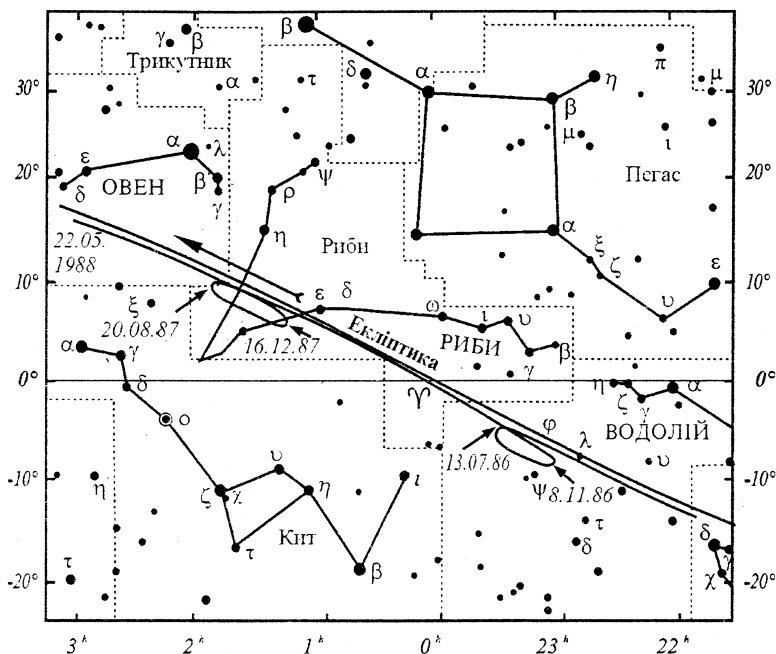


Рис. 5.6. Дві петлі, що їх описав Юпітер серед зір у 1986–1987 рр.

Елементи орбіт планет наведено в табл. 2-Б Додатка.

5.2. ПЕРЕДБАЧЕННЯ ПОЛОЖЕНЬ ПЛАНЕТ НА НЕБІ

Планети рухаються навколо Сонця практично у площині екліптики. За *першим законом Кеплера*, формою орбіти є еліпс, в одному з фокусів якого розташовано Сонце. Для всіх точок еліпса сума відстаней до фокусів однакова: $m_1 + n_1 = m_2 + n_2$. Половина найбільшого діаметра еліпса a (*велика піввісь*) дорівнює середній відстані планети від Сонця, а *ексцентриситет* $e = c/a$ (рис. 5.7). Кожна планета здійснює повний оберт навколо Сонця (відносно далеких зір) за час T , що називається *сидеричним* (тобто зоряним) *періодом обертання*. Рух планети нерівномірний, а саме: за однакові проміжки часу відрізок Сонце — планета описує («замітає») однакові площі (це *другий закон Кеплера*). В результаті швидкість планети тим більша, чим менша від-

стань її від Сонця. Відповідно до *третього закону Кеплера*, квадрати сидеричних періодів двох планет (T_1 і T_2) співвідносяться як куби їхніх середніх відстаней, тобто великих півосей їх орбіт a_1 і a_2 :

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

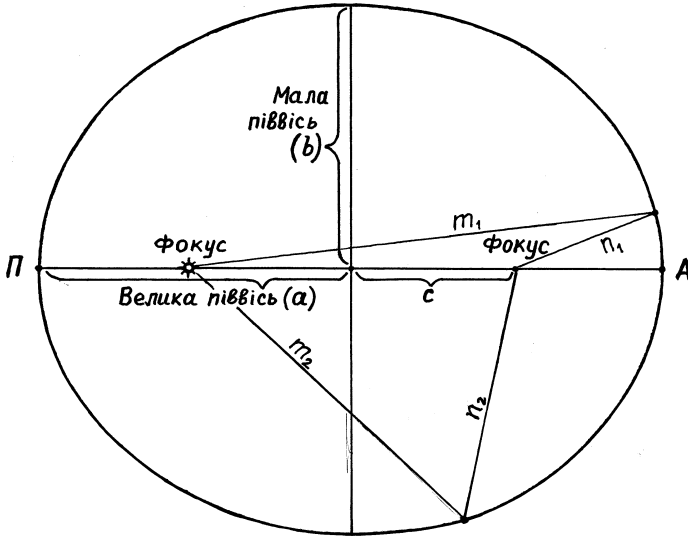


Рис. 5.7. Еліпс як орбіта планети: P — перигелій, A — афелій — відповідно найближча і найдальша від Сонця точки орбіти

Порівнюючи рух планет з рухом Землі і приймаючи її параметри руху за одиниці (відстані вимірюють в астрономічних одиницях, час — у зоряних роках $T_{\odot} = 365,26$ доби), запишемо цей закон так:

$$T^2 = a^3.$$

Одне із завдань астрономів — визначити, де, в якому сузір'ї перебуває та чи інша планета сьогодні, і коли її можна бачити — увечері чи вранці. Інформація про це є в «Астрономічних календарях» — щорічниках, у яких публікують *ефемериди* планет (їхні координати, обчислені наперед на деякі дати року). Однак для ліпшого засвоєння законів руху планет такі обчислення доцільно виконати самому (звичайно, це буде не дуже точно). Принаймні для Юпітера і Сатурна це можна зробити, не вдаючись до складних обчислень, досить простим

графічним способом. Орбіти цих планет незначно відрізняються від кіл, рух по орбіті можна вважати рівномірним, отже, для визначення положення Юпітера чи Сатурна достатньо знати екліптичну довготу на якусь початкову дату і середню величину кутового переміщення планети за 1 земну добу, котра дорівнює

$$\omega = \frac{360^\circ}{T},$$

де T — сидеричний період обертання планети.

Спочатку обчислюємо кількість діб від початкової дати ΔT . Тоді екліптична довгота λ становитиме

$$\lambda = \lambda_0 + \omega \Delta T,$$

де λ_0 — довгота на початкову дату.

На схемі (рис. 5.8) відмічаємо точку на орбіті із довготою λ . Це буде положення планети на орбіті. Через цю точку і положення Землі у той самий момент проводимо пряму, а потім — паралельно до цієї прямої — іншу пряму, що проходить через Сонце (оскільки напрями на зорі в нас побудовані відносно Сонця). Точка перетину цієї прямої із зовнішнім колом дає екліптичну довготу планети, котра буде та ж сама і для земного спостерігача з огляду на величезні відстані до зір. Як приклад, визначимо видиме місце Юпітера на початку жовтня 2012 року. Точки A та A' дають положення Землі та Юпітера. Проводимо пряму $AA'A''$ і паралельно до неї пряму SB . На зовнішньому колі маємо довготу приблизно 77° та сузір'я Тельця.

На «нульове» січня 2010 р. (тобто 31 грудня 2009 р.) для Юпітера $\lambda_0 = 334,0^\circ$, а для Сатурна $\lambda_0 = 178,4^\circ$. Відповідно для Юпітера $\omega = 0,0831^\circ$, для Сатурна $\omega = 0,0335^\circ$.

Наближено положення планети в тому чи іншому зодіакальному сузір'ї можна визначити, знаючи протяжність кожного з них уздовж екліптичної довготи (числа наведені в градусах):

Овен	28–53	Лев	138–174	Змієносець	248–267
Телець	53–90	Діва	174–218	Стрілець	267–300
Близнята	90–118	Терези	218–241	Козоріг	300–327
Рак	118–138	Скорпіон	241–248	Водолій	327–352
				Риби	352–28

(Сузір'я Змієносець не є зодіакальним).

Для полегшення лічби днів між двома датами зручно використовувати табличку порядкових чисел днів у році на кінець кожного місяця:

31.01.	31	31.05.	151	30.09.	273
28.02.	59	30.06.	181	31.10.	304
31.03.	90	31.07.	212	30.11.	334
30.04.	120	31.08.	243	31.12.	365

У високосному році 29 лютого — це 60-й день, і до всіх наступних чисел таблиці слід додати одиницю (див. також табл. 10-А).

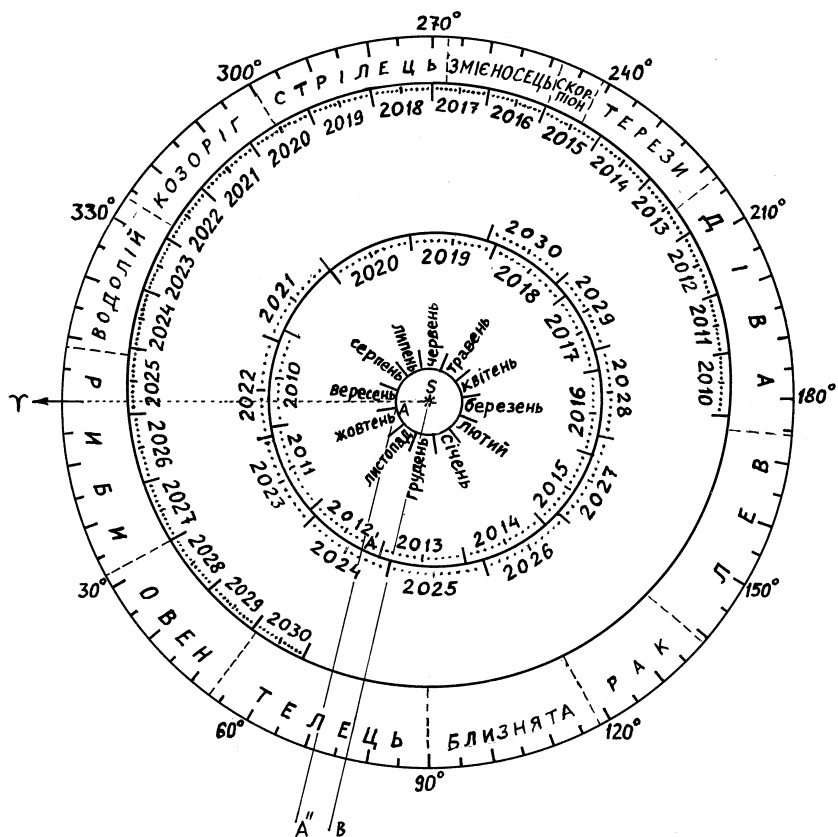


Рис. 5.8. Орбіти Землі, Юпітера й Сатурна (вказано положення планет на період 2010–2030 рр.); зовні — коло, уздовж якого відлічують довготу планети

5.3. ФІЗИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПЛАНЕТ

Усе, про що йшлося вище, стосувалося задач *кінематики*, тобто дослідження особливостей руху планет на тлі зір. Не менш цікавим є вивчення власне планет як фізичних об'єктів.

Мета і задачі спостережень. Астроном-аматор, який прагне принести користь науці в галузі вивчення планет, повинен, перш за все, чітко уявляти мету своєї роботи, визначити свої можливості та правильно організувати роботу.

При визначенні мети роботи необхідно врахувати свої засоби і можливості: розмір і силу інструмента, теоретичну підготовку і досвід спостерігача, умови видимості планети та атмосферні умови.

Спостереження планет, що претендують на наукову цінність, потребують достатньо потужних інструментів. Але і для малих телескопів і зорових труб можна знайти роботу в цій галузі астрономії. Вже в трубу з діаметром об'єктива 75 мм і збільшенням 40 можна вивчати фази Венери і побачити великі деталі на Юпітері. Телескоп з діаметром об'єктива 100–150 мм дозволить виконати серйозну програму спостережень. Також можна самостійно виготовити рефлектор середніх розмірів. Про це докладно пише М. С. Навашин в книзі «Телескоп астронома-любителя».

Роботу спостерігача планет можна розділити на три етапи:

1. *Ознайомлення з планетами.* Треба навчитися відрізнити планети одну від іншої та знаходити їх на небі. Для цього необхідно знати сузір'я, особливо зодіакальні, а також всі яскраві зорі. Допомогу в цьому надасть зоряний атлас або карта зоряного неба, а також «Астрономічний календар» на даний рік, в якому даються положення планет. Потім треба познайомитися з виглядом планет в телескоп. Найлегше розгледіти в телескоп Юпітер, Венеру і Сатурн завдяки їхнім великим видимим розмірам. Відстань Марса від Землі змінюється від 56 млн км до 400 млн км, і коли він далеко, то поступається за блиском яскравим зорям і дуже маленький. Краще всього його спостерігати під час протистоянь. Зовсім важко спостерігати Меркурій, який постійно ховається у променях Сонця. Зате за рік в цієї планети шість періодів видимості. Його тричі видно звечора (втім, наприкінці літа — погано) і тричі — у ранкових присмерках. Коперник, кажуть, Меркурій бачив, коли вчився і працював в Італії, а у себе, на півночі Польщі, так і не бачив. Уран і Нептун у невеликий телескоп майже не відрізняються від зір.

2. *Навчальні спостереження.* Задача другого етапу роботи — навчитися спостерігати планети і вивчити деякі методи наукових спостережень. Для цього треба спочатку привчити око до розглядання планет в трубу. Початківець в той самий телескоп при тих самих атмосферних умовах побачить на диску планети значно менше деталей, ніж досвідчений спостерігач, якщо навіть гострота зору у обох однакова. Тому треба систематично тренувати око, ні в якому разі, однак, не доводячи його до втоми. Навчившись розглядати планети, треба починати вчитися правильно замальовувати видимі деталі: треба правильно передавати обриси деталей на диску планети. При використанні будь-яких методів спостережень (наприклад, фотографічних) треба спочатку засвоїти методику спостережень, а потім вже починати спостерігати.

3. *Спостереження з науковою метою.* Аматор, певна річ, не може змагатися із космічним телескопом імені Хаббла або великими наземними телескопами. Все ж систематичні спостереження планет із скромними засобами досі можуть мати наукову цінність. Назвемо визначення моментів часу проходження тієї чи іншої деталі через центральний меридіан диска планети; спостереження Червоної Плями Юпітера; пошуки утворень і активних областей, що довго існують, на видимій поверхні Юпітера і Сатурна; визначення та уточнення періоду обертання різних деталей на поверхні Юпітера і Сатурна; вивчення сезонних змін на Марсі; спостереження фаз Венери; спостереження коливальних блиску Урана і Нептуна...

Підготовка до спостережень. До недавнього часу аматори обмежувалися рисунками поверхні планет. Зараз цифрові камери спроможні дати значно кращі знімки планет, ніж колись традиційні фотоапарати. Все ж це не відміняє спостереження планет оком, хоча для початківця вони значно важчі, ніж спостереження метеорів, змінних зір і Сонця. При розгляданні деталей на поверхнях планет від спостерігача вимагається уважність і терпіння, оскільки невеликі видимі розміри планетних дисків, неспокій атмосфери і тремтіння інструмента сильно утруднюють роботу.

Очна зіниця швидко реагує на зміну освітленості, але справжня адаптація до темряви продовжується більше 30 хвилин, на протязі яких чутливість ока значно збільшується. Тому перед спостереженнями рекомендується захистити очі від яскравого світла. Оскільки слабке червоне світло майже не впливає на адаптацію ока до темряви, то розглядати зоряні карти або робити записи під час спостережень

рекомендується при червоному освітленні. Для цього треба прикрити лампу або кишеньковий ліхтарик червоним папером або тканиною і пересвідчитись, що світло дуже слабе.

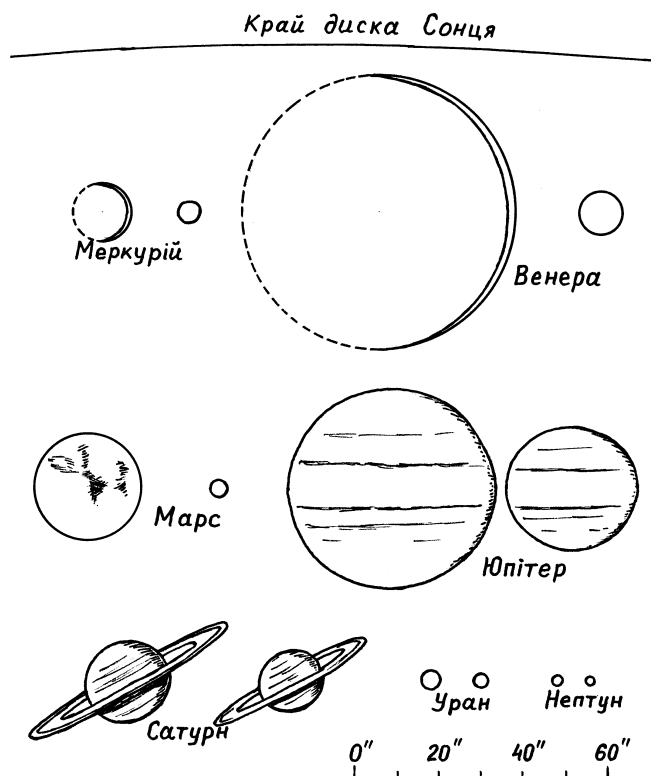


Рис. 5.9. Відносні видимі розміри планет при їхній найближчій і найдальшій відстані від Землі. У цьому масштабі диск Сонця неможливо зобразити цілком, він тут у 50 разів більший за диск Венери, коли вона найближче до нас.

Спостереження Місяця в бінокль, як ми бачили, можуть бути досить цікавими. При цьому обидва ока працюють одночасно і не втомуються. Але бінокля замало для вивчення поверхні планет. При спостереженнях в телескоп або в астрономічну трубу намагайтесь побороти істотне бажання зажмурити друге око, бо це призводить до напруження і втоми обох. З часом ви навчитеся не звертати уваги на друге відкрите око.

Більшості початківців спочатку не вдається розрізняти слабкі деталі на поверхні планет. Однак з мірою набуття досвіду сприйняття швидко покращується, тому, чим частіше ви будете проводити спостереження, тим краще.

Спостереження зовнішніх планет краще проводити, коли вони знаходяться поблизу протистоянь. Під час протистоянь планети розташовані ближче всього до Землі, тому їх видимі розміри і блиск максимальні. Крім того, завдяки своєму положенню відносно Сонця планета видна всю ніч. Внутрішні планети краще спостерігати в період елонгацій — найбільшого видимого віддалення від Сонця. В цей час планета більш тривалий час видна після заходу або до сходу Сонця. Звичайно, спостереження проводяться і в інший час. Крім того, таку яскраву планету, як Венера, можна спостерігати і вдень. В цей час яскравість планети відповідає яскравості оточуючого ландшафту, до якого адаптувалося око, завдяки чому відсутня дія, що осліплює, котра впливає на наш зір від диску планети вночі. З іншого боку, вдень збільшується неспокій повітря, і спостереженням заважає світлий фон неба, що накладається на фон диска і цим погіршує видимість малокоонтрастних деталей. В таблиці 11-Б Додатку містяться відомості про видимі кутові розміри та зоряні величини планет.

Журнал спостережень. Перш, ніж приступати до спостереження планет, необхідно завести журнал спостережень і пронумерувати його сторінки. На журналі необхідно підписати прізвище, ім'я, по батькові спостерігача, місце спостережень (найменування населеного пункту і бажано його географічну довготу і широту). Для кожного спостереження необхідно записувати об'єкт спостереження, дату, час, умови видимості, а також вказувати, яке використовувалося обладнання і його характеристики (телескоп, його збільшення і т. д.). Згідно прийнятій в світовій практиці згоді, дата і час спостережень записуються в порядку: рік, місяць, день і всесвітній час (UT). Якщо з якої-небудь причини використовується місцевий час — поясний, літній — треба вказати це в журналі спостережень. Якщо спостереження проводяться до і після півночі, необхідно привести подвійну дату, наприклад, 2011, квіт., 23/24. В журналі необхідно також дати докладний опис проведених спостережень, вказати, наскільки ясно були видні деталі, дати опис найцікавіших з них, відмітити перешкоди при спостереженнях (Місяць, хмари, неспокійна атмосфера і т. п.).

Як робити зарисовки планет. Всі рисунки повинні робитися в спеціальному зошиті або альбомі (окремому для кожної планети), по

можливості на доброму папері, м'яким простим олівцем. При зарисовках Марса, Юпітера і Сатурна можна використовувати кольорові олівці. На кожному рисунку ставиться його порядковий номер, а також дата і час спостережень, якість зображення (в 5-бальній шкалі). Не забувайте всі спостереження заносити в журнал.

Час спостережень записується в момент нанесення найінтенсивнішої деталі з точністю до 1 хвилини для Марса, Юпітера і Сатурна і до 5 хвилин для Венери. Годинник необхідно кожен день перевіряти. При цьому треба записувати поправку (u) — різницю між точним часом (M) і показаннями годинника (T). Поправка годинника повинна бути відома з точністю до 1 хвилини. Точний час дорівнює: $M = T + u$.

Якість зображення оцінюється наступним чином (5-бальна шкала):

1 — зображення сильно тремтить, весь диск струменіє, іноді спотворюється його форма, він фарбується в різні кольори; деталі не видні; часом зображення зовсім розпливається;

2 — зображення коливається; диск помітно струменіє, але форма його не спотворюється; фарбування невелике, на диску видні тільки найкрупніші деталі; слабкі зовнішні частини планети розмиті;

3 — зображення майже нерухоме; краї диска злегка струменіють; видні всі основні деталі; іноді спостерігаються короткі (1–2 сек.) заспокоєння;

4 — зображення різке і нерухоме; краї диска чіткі; видні дрібні деталі і найслабші частини планети; часто настають моменти повного заспокоєння;

5 — зображення весь час виключно різке; тремтіння і помутніння рідкі (через 5–8 сек.); найдрібніші деталі видні чітко.

Пристаючи до зарисовок, необхідно завчасно приготувати аркуші паперу, на які нанесені контури планети. При русі планет по орбітам відстані між ними і Землею змінюються, відповідно змінюються і видимі розміри планет; ці зміни особливо помітні у Венери і Марса. Не дивлячись на це, для зарисовок Венери і Марса, а також Меркурія можна використовувати диски діаметром 50 мм.

Готуючись до спостережень Юпітера, потрібно виготовити овальний шаблон (рис. 5.10): адже полярний радіус Юпітера на 2500 км менший від екваторіального, що становить 71400 км. Горизонтальна лінія шаблону довжиною 50 мм відображає діаметр планети. На ній позначають центр, через який проводять вертикальну лінію. З центра на всіх чотирьох променях роблять позначки на від-

стані 2,5 мм від нього. Після цього циркулем проводять чотири дуги: з верхньої точки вниз, а з нижньої вверх радіусом 26 мм, з бічних точок радіусом 22,5 мм. За допомогою вирізаного з картону такого шаблону неважко переносити зображення овального диска на звичайний папір.

Аналогічно буде утворюватися овал для зарисовок Сатурна. В цьому випадку центри дуг треба розмістити на 4 мм вгору, вниз і в сторони від центра, а радіуси дуг будуть 26,5 і 21 мм.

Щоб навчитися розрізняти деталі на поверхні планети, намагайтесь зарисовувати їх. Особливо це важливо при вивченні Марса, Юпітера і Сатурна, оскільки різноманітність деталей і швидке обертання призводять до того, що зовнішній вигляд поверхні помітно змінюється за короткий час спостережень. Можливо, треба починати з простої зарисовки розподілу світлих і темних областей на видимому диску планети або зосередити увагу на деяких помітних утвореннях, ніж намагатися в деталях зобразити весь видимий диск планети. З мірою накопичення досвіду ваші рисунки будуть більш докладнішими.

Фотографування планет подібне до фотографування Місяця. Звичайно, у головному фокусі телескопа зображення дуже мале, і доведеться використовувати окулярне збільшення. Треба мати на увазі, що Юпітер і Сатурн освітлені Сонцем значно слабше, ніж Венера, і для далеких планет знадобиться більша витримка. Неспокійна атмосфера буде суттєво ускладнювати зйомку. Зрозуміло, що час зйомки необхідно вказувати так само, як і при зарисовках. Тому заздалегідь перевірте, чи правильно працює таймер Вашої камери. А взагалі, якісною цифровою камерою, як і при зйомках Місяця, можна отримати дуже добрі результати.

Загальні правила спостережень.

1. Колективні спостереження звичайно мають більшу цінність, ніж спостереження одного спостерігача. При цьому кожен спостері-

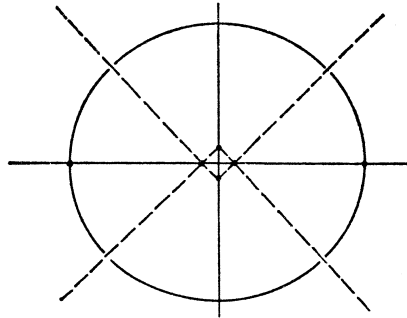


Рис. 5.10. Овальний шаблон для зарисовування деталей, що їх спостерігають на дисках Юпітера і Сатурна

гач повинен вести роботу самостійно. Ні в якому разі не можна радитися або порівнювати рисунки під час спостережень.

2. Велике значення має систематичність у роботі. Окремі спостереження малоцінні.

3. При спостереженнях завжди треба відмічати або рисувати тільки те, що спостерігач бачить достатньо ясно. Деталі, якість яких сумнівна, краще не рисувати. В крайньому випадку в примітках треба оговорити сумнівну видимість даної деталі. Слід відмічати також випадки, коли якась деталь була видна особливо чітко. Рисунок повинен якнайточніше передавати вид планети, але при цьому не треба гнатися за красою рисунка.

4. Маючи невеликий інструмент, не треба братися за непосильні задачі. Це призведе до того, що спостерігач почне малювати не те, що він бачить, а те, що йому вважається або те, що він хотів би бачити, тобто до спотворення дійсності. Не треба прагнути спостерігати неодмінно при найбільшому збільшенні труби, а краще вибрати те збільшення, при якому деталі видні найясніше.

5. Оскільки більшість планет кожен раз виглядають по-різному, ніколи не можна знати наперед, яка картина відкриється при спостереженнях. Вперше приступаючи до спостережень планет, не засмучуйтесь, якщо спочатку не побачите нічого, крім маленького диска планети — оку треба звикнути, щоб розрізнити слабкі деталі на поверхні. Призвичаївшись до свого телескопа і набувши деяких навичок, ви виявите, що з кожним спостереженням помічаєте їх все більше. В подальшому ви побачите, що іноді на короткий час умови спостережень стають настільки сприятливими, що на маленькому диску планети «проступає» багато різноманітних деталей, які важко відразу зарисувати. Пам'ятайте, що часом не менш важливо знати про відсутність яких-небудь видимих деталей на планеті — в першу чергу це стосується Венери і Марса. Ніколи не забувайте відмітити ці «негативні» спостереження.

6. Все необхідне для спостережень: альбом для зарисовок, шаблони, олівець, годинник, камеру із перехідним пристроєм, ліхтарик, астрономічний календар, атлас зоряного неба і т. д. — приготуйте заздалегідь.

Меркурій. Близькість Меркурія до Сонця робить його одним із трудніших об'єктів для спостережень. Меркурій ніколи не віддаляється від Сонця більш, ніж на 29° , тому його спостереження можливі лише у присмерках або вдень. Блиск Меркурія на нашому небі може

сягати $-1,7^m$. Жителям північної півкулі зручніше спостерігати планету весною, коли вона знаходиться у східній елонгації, і восени — в західній елонгації. В ці періоди висота Меркурія над горизонтом максимальна, хоча його кутова відстань від Сонця не перевищує 20° . Нахил площини орбіти Меркурія — 7° , причому афелій знаходиться південніше екліптики. Тому максимальні елонгації Меркурія у південній півкулі спостерігати зручніше, ніж в північній.

Звичайно Меркурій має білуватий колір, іноді набуває червоного або жовтуватого відтінку, але, навіть знайшовши планету, ви далеко не завжди зможете що-небудь розгледіти на ній. У невеликий телескоп (діаметром об'єктива біля 75 мм) вдається розрізнити тільки фази Меркурія. В більш крупні телескопи (100–155 мм) можна помітити окремі темні плями на диску планети; побачити значно більше не вдається навіть у великі телескопи.

Знайти Меркурій на небі нелегко, особливо ввечері. До моменту настання ночі, коли на небі багато зір, Меркурій вже заходить. Він видний на протязі короткого часу в приємках, на зеленкуватому тлі неба, що темніє, низько над горизонтом. Іноді він знаходиться недалеко від якої-небудь яскравої зорі, яка рано з'являється на небі. Це полегшує пошуки, але так буває рідко. Добре, якщо у аматора є телескоп на екваторіальній установці з розділеними колами. В цьому випадку слід зафіксувати телескоп по схиленню (взявши дані з Астрономічного календаря) і, повільно повертаючи його за годинним кутом, шукати планету. В інших випадках доводиться, орієнтуючись по тим сузір'ям, які вже видні на небі, приблизно визначити область, де зараз повинен знаходитись Меркурій.

Ранком ці пошуки можна полегшити, якщо почати слідкувати за східною частиною неба до настання світанку, поки ще видні всі зорі. Тоді навіть на небі, що пояснішало на сході, буде легше зорієнтуватись.

Венера. Венера — найяскравіше після Сонця і Місяці світило. Її зоряна величина в максимумі блиску сягає $-4,7^m$. У найбільшому блиску Венера буває за 36 днів до нижнього сполучення і через 36 днів після нього. Кутова відстань Венери від Сонця може сягати 48° . При сприятливому розташуванні відносно Сонця і горизонту Венеру можна бачити навіть вдень неозброєним оком. При денних спостереженнях значно зменшується контраст між яскравою планетою і фоном неба, завдяки чому вдається розрізнити на її диску слабкі деталі. Венера настільки яскрава, що при спостереженнях в телескоп, можливо, знадобиться скористатися фільтрами.

Спостереження фаз Венери. Венера, як і Місяць та Меркурій, має фази. Спостереження фаз Венери особливо цікаві в наступні епохи: 1) коли фаза близько до 1, тобто Венера видна як повний диск; 2) біля фази 0,5, коли термінатор наближається до прямої лінії; дуже важливо визначити момент коли він стає зовсім прямим; 3) при малих фазах (менших 0,2), коли Венера має вид вузького серпа.

Спостереження показали, що спостережна фаза Венери систематично відрізняється від теоретичної. Особливо це помітно при так званій дихотомії, тобто коли видна половина освітленого диска планети. Це відхилення спостереженої фази від теоретичної отримало назву ефекту Шретера — за ім'ям вченого, який вперше звернув на нього увагу. Дихотомія настає під час східної і західної елонгацій. Реальність ефекту Шретера досі викликає сумніви, тому і являють інтерес систематичні зарисовки, а також фотографування фаз Венери.

Зарисовка планети починається з нанесення лінії термінатора (границі освітленої і неосвітленої частин планети). Спочатку треба намагатися правильно передати фазу і збільшення рогів серпа. Потім приступають до огляду видимого диска планети у такому порядку:

1. Огляньте термінатор. Як відомо, Венера вкрита густим шаром хмар, крізь котрі не видно поверхні планети. Тому на термінаторі можуть бути світлі виступи і темні «затоки». Верхня і нижня половини його можуть бути не симетричними. Особливо часто темні затоки видні на термінаторі біля рогів, через що термінатор майже ніколи не має півеліптичної форми.

2. Огляньте «роги» серпа. Довжина рогів серпа змінюється — вони то вкорочуються, то видовжуються. Обов'язково відмітьте наявність або відсутність видовження рогів. Якщо роги видовжені, то на рисунку їх кінці відмічаються стрілочками, щоб можна було оцінити кут α , на який видовжився кожен ріг серпа (рис. 5.11). Нерідко один із рогів буває розмитим, в той час як інший видний різко. На термінаторі у рогів іноді спостерігаються різкі зазублини. При більших фазах спостерігаються закруглення термінатора.

3. Огляньте лімб планети. На лімбі можуть спостерігатися світлі виступи.

4. Огляньте сам диск (серп) планети. Найпомітніше на диску Венери потемніння біля термінатора, що має форму сегмента. У фазі дуже вузького серпа іноді вдається помітити слабке світіння на неосвітленій частині диска планети — це так зване попелясте світло Ве-

нери. Спостереження попелясто-го світла пов'язано із великими труднощами; щоб мати можливість побачити його, в окулярній частині телескопа необхідно встановити вузьку, у формі серпа Венери, діафрагму, що захищає око від яскравого світла планети. Важливо встановити, чи дозволяє попелясте світло бачити весь диск планети, або видна тільки його частина біля термінатора. Припускається, що попелясте світло пов'язане із полярними сьйвами, що відбуваються у верхніх шарах атмосфери Венери.

5. Деталі на Венері являють собою дуже розмиті і неясні утворення, що мають, ймовірно, хмарну природу, вони у кращому випадку ледве помітні, так що їх доволі важко зарисувати. Темні плями звичайно мають витягнуту форму, білі — округлену. На рисунку темні області заштриховуються, а світлі обводяться пунктиром. В деяких випадках використання світлофільтрів дозволяє більш чітко розрізнити деталі на Венері, краще всього для цього підходить світло-жовтий фільтр. Як і при спостереженнях інших планет, важливо відмічати також відсутність видимих деталей.

6. При зйомках цифровою камерою треба робити різні витримки, оскільки важливо розрізнити малокоонтрастні деталі.

Марс. Для спостережень поверхні Марса необхідний телескоп з діаметром не менше 100 мм, причому бажано використовувати збільшення, принаймні, у 200 разів. За таких умов, при спокійній атмосфері можна отримати цікаві результати. Не треба, проте, забувати, що навіть у протистоянні Марс разів у 200 далі від нас, ніж Місяць. Отже, збільшення у 200 разів для Марса — це те ж саме, що незброєне око для спостережень Місяця. Під час протистояння різниця довгот планети і Сонця становить 180° , і планета підходить ближче всього до Землі. Орбіта Марса помітно витягнута, і відстань від неї до земної орбіти різна. Коли протистояння Марса відбувається там, де орбіти найближче всього одна до іншої (Земля там буває у серп-

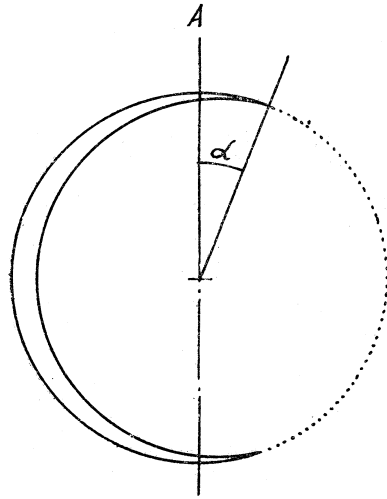


Рис. 5.11. Визначення видовження рогів серпа Венери

ні — вересні), відстань між планетами мінімальна — 56 млн км. Такі протистояння називаються великими і настають вони кожні 15 або 17 років. Останнє велике протистояння було 28 серпня 2003 року (рис. 5.2), наступне відбудеться 27 липня 2018 року. В таблиці 12-Б Додатку вказані протистояння Марса. Звичайно ж, Марс можна спостерігати і в будь-який інший час, коли він видний над горизонтом.

При спостереженнях Марса звичайно не рекомендується вивчати опубліковані карти і рисунки Марса, щоб бути цілком вільним від підгонки картини деталей, які спостерігаються, до якої-небудь карти планети, що часто буває у початківців.

Положення крупних темних деталей на поверхні Марса встановлено достатньо точно, тим не менш, ретельні зарисовки деяких із них завжди цікаві. Вивчаючи деталі, намагайтесь робити при кожному спостереженні одну-дві зарисовки всього диска планети. Хоча видимий діаметр Марса змінюється з часом, при зарисовках використовуйте стандартний діаметр, що дорівнює 50 мм. Величина видимої фази Марса може сягати 46° , тому при зарисовках необхідно бути уважним. Точне значення фази планети на момент спостереження можна знайти в Астрономічному календарі або Астрономічному щорічнику.

Найпомітнішими деталями на Марсі є полярні шапки. В залежності від нахилу осі Марса і марсіанської пори року на ньому буває видною то північна, то південна шапка, то обидві разом. Цікаво слідкувати за змінюванням їхніх розмірів і обрисів, відмічаючи кожен раз їх границі. Особливо цікаві ці спостереження біля епохи зникнення або значного зменшення розмірів шапки, коли її обриси швидко змінюються: вона розділяється на частини, іноді обрамлені темною смугою і т. д.

Наступними деталями, які можна розрізнити, є «моря» Марса. Найтемніші з них добре видні на тлі «материків» (світлих областей). Менше видні невеликі темні плями («оазиси»), які можна помітити далеко не завжди. Що стосується «каналів» Марса, то часто навіть досвідчені спостерігачі з добрими телескопами при чудових умовах видимості не помічають їх. Втім, ситуація із каналами не така проста. Дійсно, ще сто років тому виявилось, що хаотично розташовані неоднорідності людське око підсвідомо з'єднує у лінії. Але ж на протязі першої половини ХХ століття видатні астрономи (Ерл Слайфер у США та багато інших), застосовуючи методику суміщених негативів, отримували *фотографічні* зображення каналів, причому, при-

наймні, найкрупніші із них розташовувалися саме там, де їх бачили візуально. А потім детальні зйомки з космічних апаратів не показали нічого подібного.

Приступаючи до зарисовок Марса, треба пам'ятати, що внаслідок доволі швидкого обертання планети навколо осі розташування деталей під час зарисовки може сильно змінитися, тому процес зарисовки не повинен займати більше 20–25 хвилин.

Спочатку треба за значенням фази, взятим із астрономічного календаря, нанести положення термінатора. Починати зарисовувати планету можна з нанесення контуру полярної шапки, при цьому треба пам'ятати, що вона не обов'язково розташована точно на полюсі. Крім того, вісь обертання буває по-різному нахилена відносно спостерігача. Під час великих протистоянь із Землі добре видно південний полюс Марса, тоді як північний ховається за краєм планети. Потім треба нанести загальні контури основних деталей. При цьому треба порівнювати протяжності деталей і відстані між ними з діаметром або радіусом планети, інакше може трапитися систематичний зсув всіх деталей до півночі або до півдня. Після цього можна продовжувати зарисовку, додаючи більш тонкі деталі і відмічаючи положення найяскравіших областей. Після нанесення контурів основних деталей можна зробити розтушовування, прагнучи передати співвідношення інтенсивностей деталей. Яскраві світлі плями обводяться пунктиром.

Спостереження деталей поверхні корисно проводити, використовуючи оранжевий або червоний світлофільтри, а для спостереження атмосферних утворень краще використовувати світло-синій фільтр.

При всіх зарисовках Марса треба обов'язково вказувати напрямок добового руху небесного склепіння у вигляді стрілки.

Інтенсивність і колір деталей. Дуже важливо оцінити яскравість різних об'єктів, видимих на диску планети. Для цього бажано мати світлофільтри: червоний, жовтий, зелений і синій. Зарисовки поверхні Марса треба проводити з кожним фільтром окремо, відмічаючи інтенсивність деталей за умовною десятибальною шкалою, рекомендованою Вокулером. В цій шкалі темний фон нічного неба приймається за 10, а яскравість полярної шапки в період марсіанської весни — за 0. Але, оскільки спостерігачеві важко запам'ятати яскравість шапки весною на весь період спостережень, можна прийняти в якості другої основної точки шкали середню яскравість материків поблизу центра

диска, яка дорівнює 2. Таким чином, значення балів цієї шкали буде приблизно таким:

- 1 — найяскравіші ділянки полярної шапки;
- 0 — середня яскравість полярної шапки;
- 1 — світлі плями, що виділяються своєю яскравістю на загальному фоні материків;
- 2 — материки поблизу центра диска;
- 3 — найслабші темні плями: «моря», «озера»;
- 4 — середні за інтенсивністю «моря»;
- 5 — більш темні «моря» ;
- 6 — особливо темні «моря» і окремі ділянки в них;
- 7 — найтемніші ділянки «морів» (головним чином в період весняного танення полярної шапки);
- 8 і 9 — деталі такої інтенсивності на Марсі не зустрічаються;
- 10 — фон нічного неба.

Необхідно, однак, мати на увазі, що інтенсивність «морів» з часом змінюється в доволі широких межах. Тому інтенсивність темних і світлих деталей треба порівнювати з інтенсивністю материків поблизу центра диска, розділивши подумки інтервал між нею і фоном неба на 8 частин. Точність оцінки на початку спостережень складає біля 0,5 балів, але потім підвищується, доходячи у досвідчених спостерігачів до 0,2 балів.

Необхідно також вказувати контрастність деталей в кожному світлофільтрі, зокрема, контраст між темними плямами («морями») і сушею, а також між світлими плямами і сушею.

В один вечір бажано робити по 3–4 рисунка через кожний світлофільтр з інтервалом в 30–60 хвилин. Час кожної зарисовки повинен відмічатися з точністю до 1–2 хвилин в момент нанесення найчіткішої деталі.

Спостереження світлих плям і хмарних утворень. В деяких районах Марса іноді спостерігаються білі «тумани» — яскраві білі плями. Особливо часто вони виникають поблизу ранкового термінатора, де хмари, що утворилися в холодні нічні години, не встигають швидко зникнути зі сходом Сонця. Ці хмари не залишаються на одному місці, і можна прослідкувати за переміщенням деяких із них над поверхнею Марса. Такі утворення краще всього видні крізь зелений і синій світлофільтри. Зрідка спостерігається утворення великих білих плям, видимих крізь всі фільтри від червоного до зеленого, але невидимих в синій фільтр. Спостерігаються також «сині тумани», що інколи по-

кривають значні ділянки диска планети, але видні вони лише в синій світлофільтр.

На поверхні Марса також можна спостерігати «жовтий туман» або «жовті хмари», котрі являють собою пилові бурі, що, буває, тривають місяцями. Ці утворення добре видні крізь жовтий і червоний світлофільтри, а також без них. Часом пилові бурі огортають всю поверхню Марса. Так було у другій половині 2001 року. Цікаво спостерігати, як після закінчення бурі мірою осідання пилу на поверхні знову поступово проступають попередні деталі, але змінившись за формою і яскравістю. Більш слабкі пилові бурі змінюють вид окремих ділянок поверхні Марса.

Спостереження «фіолетового» шару. При погляді на Марс в синій або фіолетовий світлофільтр кидається в очі майже повна невидимість звичних деталей його поверхні (за виключенням полярної шапки). Це свідчить про наявність в атмосфері Марса крупних частинок, що розсіюють світло, які отримали назву «фіолетового шару» або «блакитної імлі». Зрідка у «фіолетовому шарі» спостерігаються просвітлення, іноді в синій світлофільтр стають помітними обриси «морів». Треба ретельно відмічати випадки таких просвітлень та інтенсивність «морів», видимих в синій світлофільтр, одночасно проводячи аналогічні спостереження і з червоним світлофільтром.

Визначення положення деталей. За рисунками Марса можна скласти карту планету при умові, що спостереження охоплюють не менше 30—40 днів. Річ у тім, що через різницю періоду обертання Марса і сонячної доби на 37 хвилин, кожен наступний ніч ми бачимо в той самий час на Марсі ділянки з довготою на 9° меншою. Тому через 40 діб на центральному меридіані опиняються ті самі деталі, що і на початку спостережень. За цей час перед спостерігачем пройнуть всі довготи Марса.

Спостереження проходження деталей через меридіан. Можна спробувати реєструвати моменти проходження різних деталей через центральний меридіан. Трохи потренувавшись, ви зможете доволі швидко визначати, коли те або інше утворення знаходиться точно посередині диска планети. Немає необхідності фіксувати моменти проходження всіх яскравих деталей, оскільки при обробці спостережень ви можете заплутати в ототожненні конкретних деталей і моментів їх проходження через меридіан. Намагайтесь відмічати лише найпомітніші структури. Очевидно, що подібні виміри має смисл проводити, коли Марс спостерігається в повній фазі, що трапляється на протязі

7–10 днів до і після протистояння. В інших фазах такі вимірювання практично виключені.

Юпітер. Із всіх планет Юпітер — найдоступніший об'єкт для спостережень у невеликі телескопи.

Різні деталі, видимі на диску Юпітера, пов'язані з утвореннями в зовнішніх шарах його протяжної і потужної атмосфери. На диску Юпітера розрізняються як великомасштабні, так і дрібні деталі, вид котрих безперервно змінюється. Навіть при спостереженнях у невеликий телескоп можна помітити темні смуги і яскраві зони, що їх розділяють, а також полярні області. Як і дрібні деталі, крупні утворення на Юпітері не залишаються незмінними, вони стають то яскравішими, то слабкішими, а іноді розбиваються на декілька більш дрібних деталей. Дрібні деталі на диску Юпітера звичайно називають плямами (вони бувають темними і світлими). Спостерігаючи переміщення цих плям, що обумовлене обертанням планети навколо осі, а також інших темних і світлих утворень на диску, можна помітити, що їх рух то пришвидшується, то уповільнюється з мірою зміни їхнього розташування в атмосфері. Деякі слабкі плями видні всього протягом декількох діб, після чого вони тускніють і зовсім зникають. Часто на поверхні Юпітера спостерігаються виступи і заглиблення в краях смуг, темні містки між смугами, розгортання смуг (вилки) та ін. Особливо цікавою є Велика Червона Пляма, яка існує на поверхні планети вже декілька сотень років, вона з року в рік змінює свій колір, інтенсивність і обриси, і, крім того, переміщується по довготі. Зазначимо, правда, що детальні спостереження потребують достатньо великих збільшень, порядку 200.

Юпітер дуже швидко обертається навколо своєї осі. Період обертання навколо осі більшості зон і смуг Юпітера складає 9 год. 55 хв. 30 сек. Але через потужну, протяжну атмосферу, в котрій протікають складні метеорологічні процеси, різні ділянки атмосфери обертаються з різними швидкостями. Так, екваторіальні зони обертаються з періодом 9 год. 50 хв. 30 сек., а період обертання більш північних і південних областей складає 9 год. 55 хв. 40 сек. В залежності від періодів обертання і спостережної картини розподіл утворень на поверхні Юпітера поділений на дві суттєво різні області: Систему I і Систему II. В астрономічних щорічниках на всі числа і час доби вказані довготи для кожної системи по відношенню до центра диска планети. На рис. 5.12 схематично показані смуги, зони та інші деталі, котрі можна спостерігати на поверхні Юпітера.

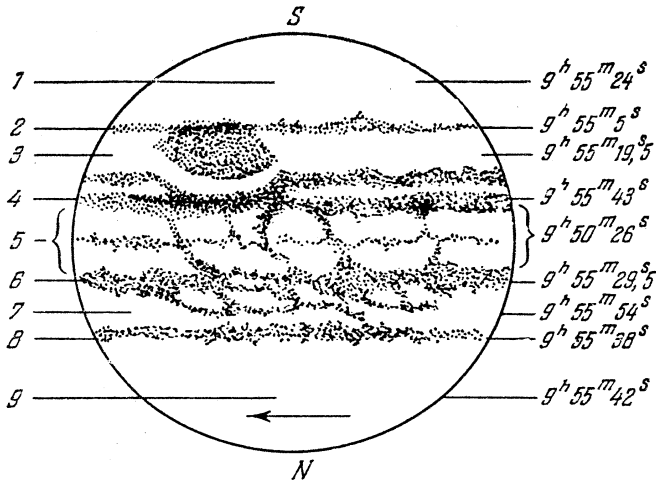


Рис. 5.12. Розташування темних і світлих смуг на поверхні Юпітера:

1 — південна полярна зона; 2 — південна помірنا смуга з Червоною Плянкою; 3 — південна помірна зона; 4 — південна тропічна смуга; 5 — екваторіальна зона з тонкою екваторіальною смугою; 6 — північна тропічна смуга; 7 — північна помірна зона; 8 — північна помірна смуга; 9 — північна полярна зона. Стрілка вказує напрям обертання планети. Справа проставлені відповідні періоди обертання

Спостереження смуг. Метою цих спостережень є вивчення довгострокових змінювань їх положень по широті, ширини, інтенсивності і кольору. Спостереження можуть полягати у зарисовці вигляду поверхні планети. На диску планети видні такі основні смуги: північна і південна тропічні, північна і південна помірні, північна і південна полярні.

Світлі простори між смугами називаються зонами. Для того щоб можна було визначити ширину і широту смуг в різних ділянках, треба чинити так. Перш за все, наносяться контури країв найширших — тропічних смуг, причому спочатку треба наносити зовнішні краї смуг, а потім внутрішні. По відношенню до тропічних поясів наносяться більш слабкі помірні і полярні смуги, а також границі потемнінь на полюсах — полярних шапок.

Спостереження деталей. При зарисовці деталей треба нанести спочатку найінтенсивнішу деталь, а решту наносити вже відносно неї. В першу чергу наносяться деталі, що знаходяться на правому боці

диска планети (на лівій, якщо телескоп дає перевернуте зображення), оскільки вони незабаром сховаються внаслідок обертання планети. Зарисовка повинна займати не більше 10–15 хвилин, оскільки швидке обертання Юпітера навколо осі може призвести до спотворення картини. Рисунки треба робити з годинними інтервалами.

Для визначення періоду обертання Червоної Плями та інших деталей можна відмічати моменти проходження їх через центральний меридіан планети, що ділить її видимий диск навпіл. При цих спостереженнях достатньо просто відмічати час (з точністю до хвилини) появи того чи іншого утворення в центрі диска. При таких спостереженнях зручно мати у фокусі окуляра вертикальну нитку, яку треба сумістити з центральним меридіаном планети.

Великий інтерес являють спостереження проходження одних деталей над іншими. Спостерігались випадки, коли темна смуга ділила світлу пляму навпіл. Треба по можливості визначати моменти проходження таких деталей через центральний меридіан. Слід звернути увагу і на такі форми деталей, як світлі плями на тлі темних смуг і темні містки між двома смугами. Такі утворення звичайно недовговічні.

У 1994 році комета Шумейкерів — Леві зіштовхнулася із Юпітером. Після цього на місці її вторгнення в хмари довго можна було спостерігати темний «слід». Аналогічний випадок стався у 2009 році, тоді саме падіння чогось на Юпітер не було зареєстроване, але з'явилася така ж темна пляма.

Інтенсивність смуг і деталей можна оцінювати за умовною шкалою, в якій балом 6 оцінюється інтенсивність тіні супутника на диску Юпітера, а балом 0 — яскравість екваторіальної зони. Найтемніші плями можуть мати інтенсивність 5, найяскравіші — інтенсивність –1.

Цікаві дані про колір тих чи інших утворень можна отримати, спостерігаючи із світлофільтрами, причому оцінювати інтенсивність деталей треба через кожний світлофільтр окремо. Бажано звертати увагу на різницю в кольорі смуг північної і південної півкулі планети. При таких спостереженнях можна використовувати кольорову шкалу, подібну до *шкали Остгофа*. Таку шкалу можна виробити тільки в результаті систематичних спостережень планети з одним і тим самим інструментом. Шкала Остгофа виглядає так:

- | | |
|---------------------|-------------------|
| 0 — білий | 3 — світло-жовтий |
| 1 — жовтувато-білий | 4 — жовтий |
| 2 — білувато-жовтий | 5 — темно-жовтий |

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 6 — червонувато-жовтий | 9 — червоний |
| 7 — оранжевий | 10 — темно-червоний |
| 8 — жовтувато-червоний | |

Важливою деталлю диска Юпітера є Велика Червона Пляма, близько 40000 км довжиною і 13000 шириною, яку видно у південній півкулі вже близько 350 років, причому сто років тому її розміри були удвічі більшими. Пляма з року в рік змінює колір, інтенсивність та обриси, і цей факт заслуговує на особливу увагу. Пляма також зміщується по довготі.

Для спостереження зміни кольору Червоної Плями можна використовувати восьмибальну кольорову шкалу:

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1 — світло-рожевий | 5 — світло-червоний |
| 2 — рожевий | 6 — червоний |
| 3 — темно-рожевий | 7 — темно-червоний |
| 4 — фіолетово-червоний | 8 — червоно-коричневий |

Спостереження супутників Юпітера. Чотирьох найяскравіших (галілеєвих) супутників Юпітера — Іо, Європу, Ганімеда і Каллісто — можна побачити навіть в зовсім невеликі біноклі. Їхні видимі зоряні величини становлять відповідно 5^m , 5.3^m , 4.6^m , 5.6^m , найбільші їхні відхилення від планети $2'18''$, $3'40''$, $5'05''$ і $10'18''$ (рис. 5.13, пунктирні лінії). Синодичні (спостережувані з Землі, яка рухається) періоди обертання супутників — 1 доба 18,5 год.; 3 доби 13,3 год.; 7 діб 4,0 год. і 16 діб 18 год. відповідно.

Супутники швидко змінюють своє розташування відносно планети, залишаючись завжди майже на одній прямій, що проходить вздовж екватора планети. На протязі декількох годин спостережень можна помітити покриття супутника Юпітером (при заході за Юпітер супутник зникає), затемнення супутника, що потрапив в тінь планети, або тінь супутника на поверхні планети. Один раз в шість років площина орбіт супутників проходить через Землю, і в цей час вдається спостерігати покриття і затемнення супутників один одним. При цих спостереженнях дуже важливо точно зафіксувати моменти настання і закінчення відповідних подій. На рис. 5.14 вказані явища в системі Юпітера.

Можна також спостерігати зміни блиску супутника під час його заходу за диск або виходу з-за диска планети, коли світло супутника проходить крізь атмосферу Юпітера.

Спостереження проходжень супутників перед диском Юпітера можуть дати уявлення про яскравість їхніх дисків, якщо проводити

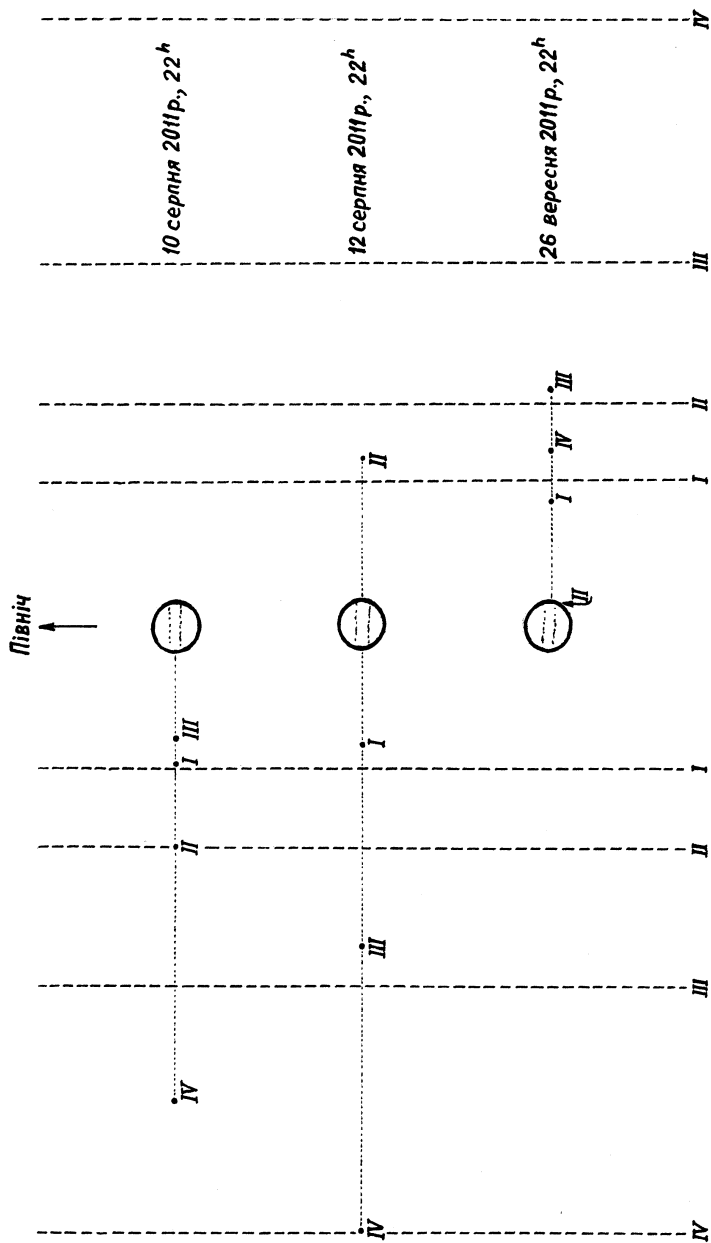


Рис. 5.13. Положення галілеєвих супутників відносно диска Юпітера у різні моменти часу 2011 р.

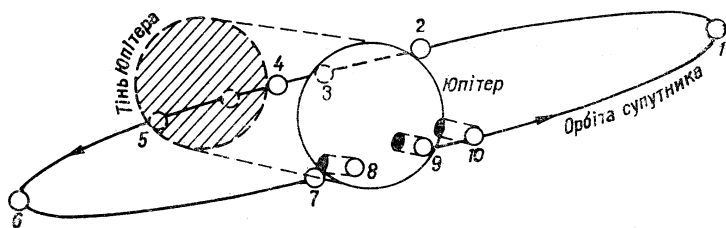


Рис. 5.14. Різні положення супутника відносно Юпітера (Сонце розташоване праворуч за спиною спостерігача):

1 — західна елонгація; 2 — супутник ховається за диск Юпітера; 3 — супутник з'являється з-за диска планети; 4 — супутник входить в тінь Юпітера (затемнення супутника); 5 — супутник виходить з тіні; 6 — східна елонгація; 7 — супутник вступає на диск планети; 8 — на диску з'являється тінь супутника; 9 — супутник починає сходити з диска планети; 10 — тінь супутника сходить з диска Юпітера

порівняння яскравості супутника і поверхні планети. При таких спостереженнях треба використовувати по можливості великі збільшення і особливо ретельно відмічати положення супутника в момент, коли його яскравість зрівнюється з яскравістю поверхні Юпітера, і супутник ніби зникає. До спостережень треба додати рисунок, що зображує шлях супутника на тлі диска планети. На ньому треба зобразити основні смуги і деталі.

Дані про «явища в системі Юпітера» і про розташування супутників приводяться в Астрономічному календарі.

Сатурн. Сатурн з системою своїх кілець — один із найефектніших об'єктів зоряного неба. Умови видимості кілець з Землі змінюються з періодом 29,5 року (рис. 5.15, північ вгорі).

Кільця розташовані у площині, що співпадає з екваторіальною площиною планети, і нахилені до екліптики під кутом біля 28° . Тому з мірою появи та зникнення кілець для спостережень стає доступною більша частина то однієї (не закритої кільцями) півкулі планети, то іншої.

Кільця Сатурна мають доволі складну структуру, подробиці якої можна вивчати тільки за допомогою космічних апаратів «зблизька». При спостереженнях в маленький телескоп видні два із них: порівняно яскраве зовнішнє кільце (кільце *A*) і найяскравіше кільце *B*, між якими легко проглядається темний проміжок — *щілина Кассіні*; у сильніші інструменти видно ніби «з'єднане» із кільцем *B*, ближче до

планети, напівпрозоре кільце *C*, яке називають *креповим*. Іноді на кільцях можна помітити різного роду неоднорідності, котрі слід зарисовувати з особливою ретельністю. У щілині іноді помітно звуження і розширення, за ними рекомендують простежити декілька годин, а згодом намагатися виявити їх під час наступних спостережень (цю

появу можна визначити наперед, оскільки період обертання кільця тут близький до 12 годин).

Дуже цікаво спостерігати кільця біля моментів їхнього «зникнення», коли вони стають ребром до Землі. В цей час треба ретельно зарисовувати форму кільця, яке виглядає тонкою світлою ниткою з рядом потовщень і розривів. Можна також слідкувати за формою тіні Сатурна на кільце, оскільки в ній іноді помітні нерівності.

Найціннішими і водночас реально можливими для багатьох (зокрема аматорів астрономії) є спостереження, що стосуються покриття зір (до 8-ї величини) кільцями Сатурна. Тоді блиск зорі порівнюють з блиском навколишніх зір за допомогою одного з методів, що їх використовують під час спостережень змінних зір. Отримана крива зміни блиску зорі дає змогу дійти деяких висновків щодо розподілу речовини у тій частині кільця, яка затемнювала зорю. Звіт про спостереження явища (а це буває нечасто), до якого долучають схему, де вказують умови затемнення зорі, і список зір порівняння надсилають у Київську обсерваторію. Звичайно, такі спостереження потребують відповідної підготовки, зокрема, ознайомлення з ділянкою зоряного неба, де повинно бути покриття кільцем зорі, і попередній вибір зір

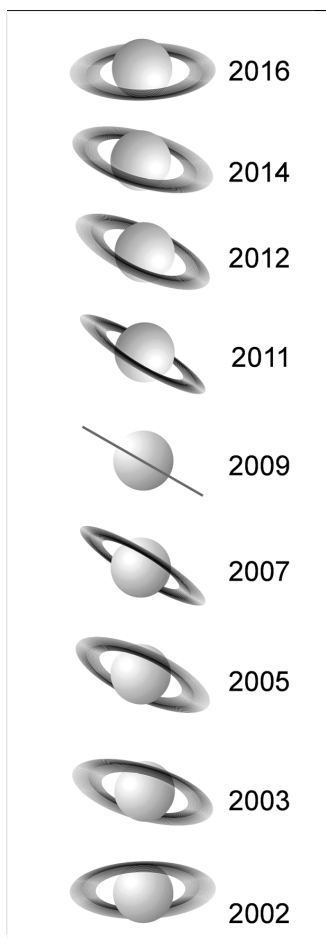


Рис. 5.15. Зміна умов видимості кільця Сатурна за половину періоду обертання

порівняння. Відомості про передбачуване покриття також можна отримати у цій обсерваторії.

Дуже простими є спостереження відносної яскравості «вушок» кільця, котрі можна вести в трубу при збільшенні в 50 разів. Яскравість обох «вушок» треба систематично порівнювати між собою і з яскравістю центра диска Сатурна. Спостереження ведуться методом Аргеландера (див. розділ 7.2) і записуються так: $C1W$, $C2E$; $W1E$, що означає: центр диска на один ступінь яскравіше західного і на два ступені яскравіше східного «вушка»; західне вушко на один ступінь яскравіше східного.

Як і на Юпітері, на поверхні Сатурна також простежуються темні смуги та інші деталі, хоча вони значно слабкіші. Методика їх спостережень така ж, як і для Юпітера. Іноді на диску Сатурна можна помітити білу пляму, і тоді дуже бажано визначити період її обертання.

Уран, Нептун. Планети, розташовані за орбітою Сатурна, знаходяться так далеко від Землі, що практично виключена можливість проводити спостереження їх поверхонь. Можна лише, користуючись даними Астрономічного календаря і докладною картою зоряного неба, намагатися відшукати їх на небі та прослідкувати за переміщенням серед зір. Уран переміщується за рік на $4-5^\circ$, Нептун — всього на 2° . В протистояннях Уран і Нептун — порівняно яскраві об'єкти (їх зоряні величини дорівнюють відповідно $5,6^m$ і $7,7^m$).

Уран. За зовнішнім виглядом Уран можна легко відрізнити від зір. У телескоп іноді вдається розрізнити диск планети, котрий в залежності від зору спостерігача може уявлятися або синюватим або зеленуватим. В більш крупні телескопи на планеті можна розгледіти темні і світлі смуги, як у Сатурна, але мілкіші деталі не помітні. Вісь обертання Урана лежить майже у площині його орбіти, тому тривалі проміжки часу із Землі видна тільки полярна область планети.

Нептун. В любительські телескопи виявити які-небудь деталі на Нептуні не вдається. Довготривалі спостереження за Ураном і Нептуном показали, що блиск цих планет злегка змінюється. Зоряні величини обох планет можна оцінити методами, котрі використовуються для вимірювання блиску змінних зір.

Планети-карлики. Міжнародна астрономічна спілка (МАС) у 2006 році прийняла нові визначення тіл Сонячної системи. Тепер планетою називають астрономічне тіло, котре: 1) рухається по орбіті навколо Сонця, 2) має достатню масу, щоб, завдяки гравітації, прийняти

майже сферичну рівноважну форму і 3) своїм гравітаційним полем зуміло очистити околиці навколо своєї орбіти.

Відтепер введено нове поняття «карликова планета». Це астрономічне тіло, майже сферичне, як планета, котре, однак, не змогло очистити околиці навколо своєї орбіти (і, при цьому, не є супутником).

Всі інші об'єкти в Сонячній системі (за виключенням супутників), котрі рухаються по орбіті навколо Сонця, повинні в цілому називатися «малими тілами Сонячної системи».

Тепер до групи планет належать тільки Меркурій, Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун. Решта об'єктів віднесені або до групи планет-карликів, або до групи малих тіл.

У наш час є п'ять астрономічних тіл, котрі були перевизначені МАС як карликові планети. Це Еріс (Еріда), Плутон (колишня планета), Церера (колишній астероїд), об'єкти Макемаке і Хаумеа. Всі вони, крім Церери, — *транснептунові об'єкти*, розташовані у *поясі Еджворта* — *Койпера* (ці астрономи свого часу припустили, що на околицях Сонячної системи є багато дрібних планет, подібних до астероїдів між Марсом і Юпітером).

UB 313 або *Erida (Eris)*. У липні 2005 року астроном Броун виявив, що новий відкритий об'єкт згаданого поясу — більший, ніж Плутон. Цей об'єкт, тимчасово названий UB 313, або Хена, потім офіційно був названий Eris. Нова планета-карлик має діаметр 2300 км, що трохи більше, ніж діаметр Плутона. Це найбільший об'єкт, знайдений на орбіті навколо Сонця, після відкриття Нептуна і його супутника Тритона в 1846 році.

Плутон (Pluto). Відомий як найменша, холодна, і найбільш віддалена планета, Плутон водночас виявився членом групи об'єктів, чії орбіти лежать у дископодібній зоні за орбітою Нептуна — вищезгаданому поясі Еджворта — Койпера (частіше про Еджворта «забувають»). Це сімейство складається із тисяч мініатюрних крижаних світів з діаметрами десь у тисячі кілометрів і менше і, як припускають, є джерелом деяких комет. Плутон має вже три відомих супутника: крім відкритого в 1978 році великого супутника-компаньйона Харона, діаметром приблизно 1200 км, починаючи з 2005 року відкривають менші супутники Плутона, поки що їх два — Гідра та Нікс. Гравітація пари Плутон-Харон синхронізувала їхнє обертання з орбітальним періодом, і обидва вони повернуті один до одного тією ж самою стороною (якщо спостерігач стояв би на поверхні одного із них, то другий компаньйон залишався б майже нерухомим на небі спостері-

гача). Їх досліджуватиме космічний корабель «Нові Горизонти», що стартував до Плутона у січні 2006 року, і в 2015 році повинен прибути на місце.

Церера (Ceres). Церера відтепер класифікована як планета-карлик. Раніше, відразу після відкриття 1 січня 1801 р., вона вважалась «планетою», а потім була класифікована як «астероїд», оскільки рухається у головному поясі астероїдів між орбітами Марса і Юпітера. Церера має діаметр біля 950 км і є найбільшим і наймасивнішим тілом у поясі астероїдів. Вона вміщує приблизно третину всієї маси цього поясу.

Макемаке. Відкритий у 2005 році об'єкт отримав початкове позначення 2005 FY9. Макемаке є одним із найкрупніших тіл зовнішньої частини Сонячної системи. Макемаке знаходиться в поясі Койпера, обертається по орбіті, трохи більшій від орбіти Плутона, і за розмірами лише ненабагато поступається йому. Однак орбіта Макемаке значно більше нахилена до площини екліптики, ніж орбіта Плутона. Згідно класифікації, Макемаке був віднесений до карликових планет в підгрупу плутоїдів. За зовнішнім виглядом Макемаке має червонуватий колір і, судячи з спектру, можливо, вкритий корою замерзлого метану.

Хаумеа. Один із найдивовижніших об'єктів у зовнішній частині Сонячної системи був класифікований як карликова планета і названий Хаумеа. Хаумеа стала п'ятою карликовою планетою, що отримала ім'я. Гладка, але витягнута форма робить Хаумеа вкрай незвичною. Вздовж однієї осі Хаумеа набагато більша за Плутона, розмір вздовж другої осі майже такий самий, як діаметр Плутона, однак довжина третьої осі набагато менша. Рухаючись по своїй орбіті, Хаумеа іноді опиняється ближче до Сонця, ніж Плутона, однак більшу частину часу вона знаходиться далі, ніж він. Хаумеа була відкрита у 2003 році, тоді їй було присвоєно тимчасове позначення 2003 EL61. Назва була дана їй Міжнародною астрономічною спілкою на честь гавайської богині. У Хаумеа є два маленькі супутники, відкриті у 2005 році, нещодавно вони були названі Хііака і Намака.

Відомості про карликові планети наведено у таблиці 4-Б Додатку.

Астероїди. *Астероїди* (по-грецьки означає «зореподібні») — це кам'яністі тіла, що залишилися після формування Сонячної системи приблизно 4,6 мільярди років тому. Більшість цих фрагментів рухаються навколо Сонця між Марсом і Юпітером. Ця ділянка у нашій Сонячній системі названа Головним поясом астероїдів і, ймовірно,

містить мільйони тіл, розміром від 950 км в діаметрі до субкілометрових. Відкрито вже більше 300 тисяч астероїдів.

Оскільки астероїди рухаються навколо Сонця по витягнутих орбітах, то гравітаційне поле гігантського Юпітера, а також випадкові тісні зближення з Марсом або з іншим астероїдом змінюють їх орбіти, усуваючи із Головного поясу і викидаючи у простір між орбітами внутрішніх планет. Наприклад, супутники Марса Фобос і Деймос можуть бути захоплені астероїдами. Вважається, що більшість астероїдів, зіткнувшись із Землею у минулому, відіграли головну роль і в геологічній історії нашої планети, і у розвитку життя на Землі.

Саме тут доречно буде сказати кілька слів про *астероїдну небезпеку*. Щорічно спостерігається більше сотні *тісних зближень* астероїдів із Землею. Такими вважаються зближення на відстань менше 10 місячних відстаней, хоча це і не близько. Сучасні інструменти дозволяють виявляти дуже малі тіла, до метрів розміром, і таких зовсім близько проходять кілька на рік. Зазначимо, що за всю історію людства не було *жодного* катастрофічного падіння небесного тіла на Землю, про яке люди б пам'ятали. Тому небезпека хоч і є, але ймовірність такої події настільки мала, що не піддається оцінюванню. Є, правда один астероїд, Апофіс, 300 метрів розміром, котрий, як кілька років тому вважалося, зіткнеться із Землею 13 квітня 2029 року. Згодом, більш точно вивчивши його орбіту, астрономи дійшли висновку, що у той день зіткнення не буде, але Апофіс пройде недалеко, і Земля викривить його шлях так, що рівно через сім років він *може* впасти на Землю. Це ще не останнє слово, може, зіткнення і тоді не буде. До того ж, уже розробляються засоби відвернути катастрофу, зокрема — здійснивши штучну корекцію його орбіти.

Деякі з астероїдів виявлено і за орбітою Юпітера. Наприклад, виявлений у 1977 р. Хірон (подібність назви!) рухається між орбітами Юпітера та Урана. Є астероїди, які підходять до Сонця ближче, ніж Меркурій, наприклад, Ікар (його перигелій віддалений від Сонця на відстань лише 0,19 а. о.).

Найцікавішим для спостереження є, напевне, *Ерос* — невеликий, поперечником близько 25 км, астероїд (його виявлено в 1898 р.), орбіта якого в перигелії порівняно близька до орбіти Землі. Найближче до Землі, під час своїх *великих протистоянь*, він буває наприкінці січня, але далеко не кожен рік. У 2012 році найменша відстань була 27 млн км, а у 2056 році становитиме тільки 22 млн км. У цей час його блиск досягає 7^m. Великі протистояння цього астероїда повторюють-

ся через десятки років, але звичайні, не такі близькі, значно частіше — через 2–3 роки. Цікавою особливістю цього астероїда є змінність його блиску з амплітудою до $1,5^m$ і періодом 5 год. 16 хв. (рис. 5.16). Тому астрономи здогадалися, що Ерос — це витягнута кам'яна брила, яка обертається навколо малої осі. Космічний корабель NEAR-Shoemaker у 2000 та на початку 2001 року отримав величезну кількість знімків цього астероїда аж до самої посадки на нього 12 лютого 2001 року, а там проводив дослідження його хімічного складу. Ерос, дійсно, витягнутий і нагадує черевик.

Зазначимо, що великих астероїдів порівняно небагато. Найбільший діаметр має Паллада — 532 км, діаметр Вести — 530 км (цей астероїд досить правильної форми і має шанси вважатися карликовою планетою), Юнони — 234 км (рис. 5.17). Загальна маса астероїдів, за оцінками, у 200 разів менша від маси Місяця. Проблема їх походження остаточно не з'ясована.

Мабуть, саме тут варто було б зробити зауваження щодо назв небесних тіл. Історично так склалося, що українське (як і російське) написання багатьох античних імен походить не від називного, а від непрямих відмінків мови оригінала. Тому замість Венус говоримо і пишемо Венера, замість Плуто — Плутон, замість Церес — Церера, замість Паллас — Паллада. Так само і Еріс-Еріда...

Інформацію щодо сприятливих для спостереження астероїдів моментів можна знайти в Астрономічному календарі. І хоча аматору недоступні для спостережень транснептунові тіла, ми подаємо елементи орбіт деяких малих тіл у Додатку (Таблиця 5-Б). Зверніть увагу на останній рядок цієї таблиці — Седна рухається по дуже витягнутій орбіті. Відстань у перигелії (котра дорівнює великій півосі мінус її до-

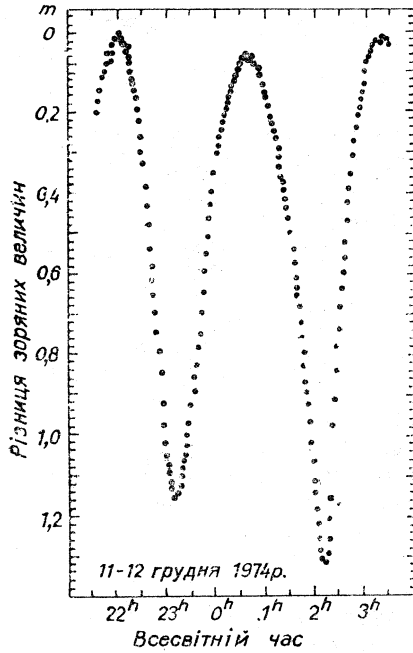


Рис. 5.16. Крива зміни блиску малої планети Ерос

буток на ексцентриситет) становить 76 а. о., а у афелії Седна віддаляється більше, ніж на тисячу астрономічних одиниць! Пояс Еджворта — Койпера тільки почали досліджувати, і там ще багато цікавих небесних тіл.

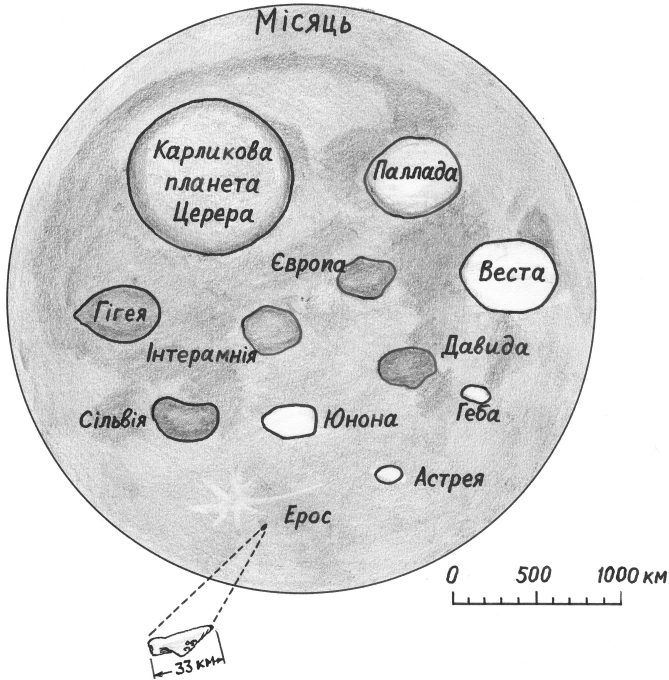


Рис. 5.17. Порівняльні розміри найбільших астероїдів

5.4. З'ЯСУВАННЯ УМОВ МІЖПЛАНЕТНИХ ПОЛЬОТІВ

Автоматичні міжпланетні станції (АМС) почали запускати понад 50 років тому. Ми неодноразово згадували результати цих польотів. Планують і *пілотовані* польоти до Марса. Очевидно, їхнє успішне проведення можливе лише за деякого взаємного розташування Землі та планети-цілі. З'ясуємо ці умови.

Найменші енергетичні зусилля потрібні для запуску АМС по напівеліптичній траєкторії, яка називається *гоманівською* (від імені ні-

мецького вченого Вальтера Гомана, який ще в 30-х роках вивчав цю проблему), або *котангенціальною*. Друга назва свідчить про те, що орбіти АМС і планети-цілі дотикаються в точці, протилежній до положення Землі відносно Сонця (рис. 5.18). У цьому випадку значення великої півосі орбіти АМС

$$a_A = \frac{1}{2}(a_T + a_p),$$

де a_T і a_p — відповідно великі півосі орбіти Землі й планети. Тривалість польоту АМС Δt_A визначають за третім законом Кеплера. Оскільки сидеричний період обертання T_A АМС навколо Сонця по цій орбіті дорівнював би $T_A = \sqrt{a_A^3}$ (де a_A — в астрономічних одиницях), то

$$\Delta t_A = \frac{1}{2}T_A = \frac{1}{2}\sqrt{a_A^3} \text{ років}$$

(цю величину зручніше вимірювати до добах N_A).

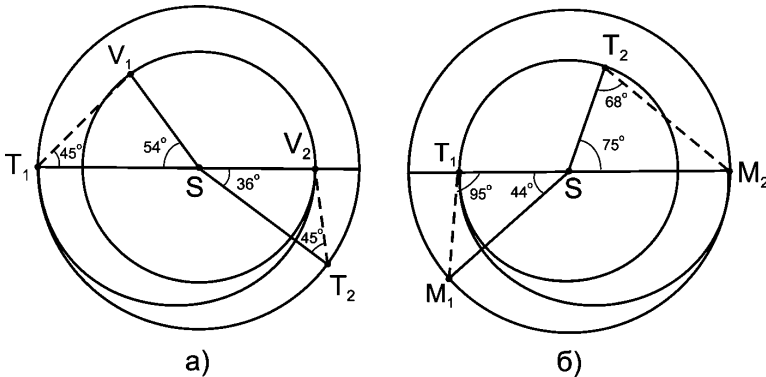


Рис. 5.18. Гоманівські траєкторії польоту АМС до Венери (а) і Марса (б); напрямки руху планет і АМС — проти годинникової стрілки

Зокрема, при запуску АМС до Венери $a_A = \frac{1}{2}(1,00 + 0,72) = 0,86$ а. о.,

$T_A = 0,797$ року, звідки $\Delta t_A = 0,399$ року або $N_A = 146$ діб. При запуску до Марса $a_A = 1,26$ а. о., $T_A = 1,418$ року, $\Delta t_A = 0,709$ року і $N_A = 259$ діб.

Яким же буде взаємне положення планети і Землі в момент старту АМС та її фінішу, якщо тривалість польоту N ? Передовсім зважати- мемо на те, що кожна з планет рухається по орбіті з деякою кутовою

швидкістю $\omega = 360^\circ/T$, де T — її сидеричний період обертання навколо Сонця. Для Венери, Землі й Марса відповідно $\omega_V = 1,6^\circ/\text{добу}$, $\omega_T = 1^\circ/\text{добу}$, $\omega_M = 0,52^\circ/\text{добу}$.

Якщо тривалість польоту АМС до планети P становить N_p діб, то кут ψ між радіусом-векторами Землі й планети P у найсприятливіший для старту момент визначаємо, міркуючи, що за N_p діб планета пройшла шлях $\omega_p N_p$ й опинилася в точці, протилежній (тобто віддаленій на 180°) до положення Землі T_1 у момент старту. Отже, конкретно Венери буде позаду Землі, а Марс попереду неї на кут, який обчислюють за співвідношенням

$$\psi = 180^\circ - \omega_p N_p.$$

Отже, для Венери $\psi = -54^\circ$, для Марса $\psi = 44^\circ$.

Неважко також визначити взаємне розташування планети і Землі в момент фінішу АМС. Оскільки за N_p діб АМС проходить кут 180° , а Земля $\omega_T N_p$, то за N_p діб планета P випереджає Землю на кут $\varphi = 180^\circ - \omega_T N_p$. Для обчислень беремо точніше значення кутової швидкості руху Землі: $\omega_T = 360^\circ/365,26 = 0,986^\circ/\text{добу}$. Таким чином визначаємо, що при польоті до Венери в момент фінішу Земля є позаду Венери на кут 36° , але випереджає Марс на 75° . У момент старту АМС відстань від Землі до Венери по прямій близько 120 млн. км, до Марса — 160 млн км. Планету Венеру тоді добре видно на вечірньому небі (саме тоді вона перебуває у найбільшій східній елонгації), у момент фінішу АМС Венеру видно вранці перед сходом Сонця. Лінійна відстань планети від Землі тоді 90 млн. км. З Марсом навпаки: у момент старту АМС Марс сходить близько півночі, його добре видно вранці (він перебуває в положенні, близькому до західної квадратури), тоді відстань до нього приблизно 160 млн км. У момент фінішу Марс видно на вечірньому небі на кутовій відстані близько 68° від Сонця. Відстань від Землі до Марса тоді 240 млн км.

Шлях, що його по напівеліптичній орбіті АМС проходить до Венери, становить понад 350 млн км, до Марса — близько 500 млн км.

Виписавши з «Астрономічного календаря» геліоцентричні довготи планет Венери і Марса на початок року, спробуйте визначити, скільки днів залишилося до можливого запуску АМС до кожної з планет. При цьому використовуйте рис. 5.18.

Це завдання можна виконати, склавши таку просту формулу. Нехай λ_p^0 і λ_T^0 — взяті з «Астрономічного календаря» довготи планети і Землі для дати, з якої починаємо відлік діб. Очевидно, що сприятли-

вий для старту момент є у випадку, коли виконується співвідношення $\lambda_p - \lambda_T = \psi_p$, яке настає через n діб. Тоді

$$(\lambda_p^0 + \omega_p n) - (\lambda_T^0 + \omega_T n) = \psi.$$

Звідси

$$n = \frac{\psi(\lambda_T^0 - \lambda_p^0)}{\omega_p - \omega_T}.$$

Якщо в знаменнику число додатне, а в чисельнику — від’ємне, то останнє слід збільшити на 360° . Це рівнозначне припущенню, що нижня планета здійснила k повних обертів навколо Сонця, тоді як Земля — на один менше. Для верхніх планет картина буде протилежною. Виконавши ділення, визначимо кількість діб n , які минули від початку відліку.

Наприклад, 31 грудня 1987 р. $\lambda_T^0 = 99^\circ$, $\lambda_M^0 = 209^\circ$. Через скільки діб можливим був запуск АМС до Марса? З наведеної тут формули $n \approx 138$ діб. І справді, як це видно з «Астрономічного календаря», близько 19 травня 1988 р. Марс був попереду Землі на 44° .

Тепер виникає таке питання: як довго треба чекати на планеті (чи біля неї) сприятливої ситуації для повернення на Землю?

Оскільки в задачах з кінематики знак часу можна змінювати на протилежний (тобто можна міняти місцями початок і кінець явища), відразу зазначимо: якщо на рис. 5.18 змінити напрям руху планет і АМС, то АМС, стартувавши з позиції P_2 (V_2 чи M_2), відшукала б Землю в точці T_1 її орбіти. Тобто для старту АМС з планети P потрібно, щоб різниця геліоцентричних довгот Землі λ_T планети і λ_p становила кут φ_p . Під час старту з Венери Земля, рухаючись навколо Сонця, повинна бути попереду планети на кут $\varphi_V = 36^\circ$, під час старту з Марса — позаду нього на кут $\varphi_M = 75^\circ$ (рис. 5.19, усі положення планет є дзеркальними відображеннями рис. 5.18).

У випадку експедиції до Венери зв’язок між вихідними значеннями довгот має вигляд $\lambda_V^0 = \lambda_T^0 + 36^\circ$, тоді як на момент старту АМС від Венери — $\lambda_V^0 = \lambda_T^0 - 36^\circ$ (настільки відрізняються довготи за проміжок часу t від прибуття до відбуття). За час t Венера зміститься по своїй орбіті на кут $\omega_V t$, тоді як Земля — на $\omega_T t$. Відповідно їхні довготи на момент часу t (відліченого від прибуття!):

$$\begin{aligned}\lambda_V &= \lambda_V^{(0)} + \omega_V t - 360^\circ k; \\ \lambda_T &= \lambda_T^{(0)} + \omega_T t - 360^\circ (k - 1),\end{aligned}$$

де повні цикли в 360° відкидають, оскільки після досягнення довготи 360° починається її відлік від 0° . Отже, запишемо загальну формулу для часу очікування на планеті (поблизу неї в якості її супутника) моменту, сприятливого для повернення на Землю:

$$t_p = \frac{360^\circ - 2|\varphi_p|}{\omega_p - \omega_T}.$$

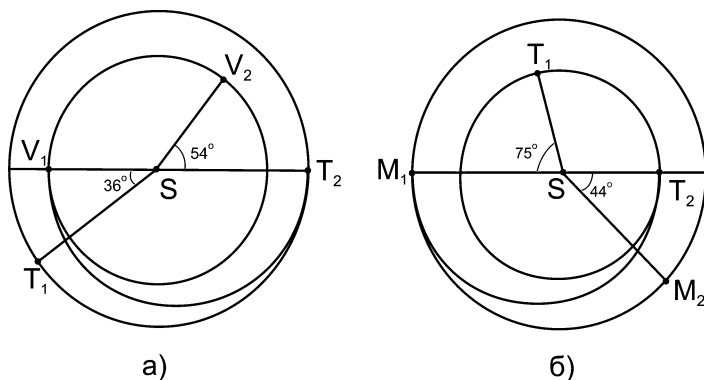


Рис. 5.19. Гоманівські траєкторії для повернення АМС з Венери (а) і Марса (б) на Землю; напрям руху планет і АМС — проти годинникової стрілки

Знак \parallel вказує, що величину ω_p треба взяти за модулем.

Отже, повний час, затрачений на політ до планети P , очікування там сприятливої ситуації і повернення назад $t_{\text{експ.}} = \Delta t_A + t_p + \Delta t_A = 2\Delta t_A + t_p$. Для Венери $t_V \approx 480$ діб, для Марса $t_M \approx 438$ діб. Тому повний час польоту до Венери становить близько 770 діб, тривалість експедиції на Марс — 956 діб.

6. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЕПІЗОДИЧНИХ АСТРОНОМІЧНИХ ЯВИЩ

В астрономії є спостереження, які не гарантують позитивного результату. Це пошук комет, виявлення сріблястих хмар, полярні саява, навіть пошук так званих нових зір. Сюди можна віднести і спостереження метеорів.

6.1. МЕТЕОРИ

Метеор — це світлове явище, що виникає на висоті від 130 до 80 км під час вторгнення в земну атмосферу частинки — *метеорного тіла*, або *метеороїда* — з міжпланетного простору. Швидкості руху метеорних тіл щодо Землі можуть бути різні — від 11 до 70 км/с, залежно від того, доганяє метеорне тіло Землю під час її руху навколо Сонця чи рухається їй назустріч. Згасають метеори звичайно на висоті від 80 км (швидкі) до 30 км (повільні).

На всій Землі за добу можна зареєструвати близько 28000 метеорів, видима зоряна величина яких $m = -3^m$. Маса метеорної частинки, що спричиняє це явище, становить лише 5 г. Метеорів, які мають зоряну величину $m+1$, у середньому в 2,5 рази більше, ніж m -ї величини, у стільки ж разів менша їхня маса. Загалом за добу в земній атмосфері спалахує близько 10 млн. метеорів, яскравіших від 5^m , ще більше *телескопічних* метеорів.

Крім поодиноких, або *спорадичних* (від. гр. σπείρω — сію) метеорів час від часу можна спостерігати *метеорні потоки* або *зоряні дощі*. Якщо за одну годину звичайно спостерігач реєструє 5–15 метеорів, то під час метеорного дощу — 100, 1000 і навіть до 10000. Метеори одного потоку протягом декількох ночей летять ніби з однієї ділянки неба. Якщо їхні сліди продовжити у зворотному напрямі, то вони перетнуться приблизно в одній точці, яка називається *радіантом метеорного потоку* (від лат. *radians* — що випромінює, сіяє) (рис. 6.1).

Якщо метеор летить точно на спостерігача, то він спалахує на небі яскравою точкою, що знаходиться в радіанті. Такі метеори називаються *стаціонарними*.

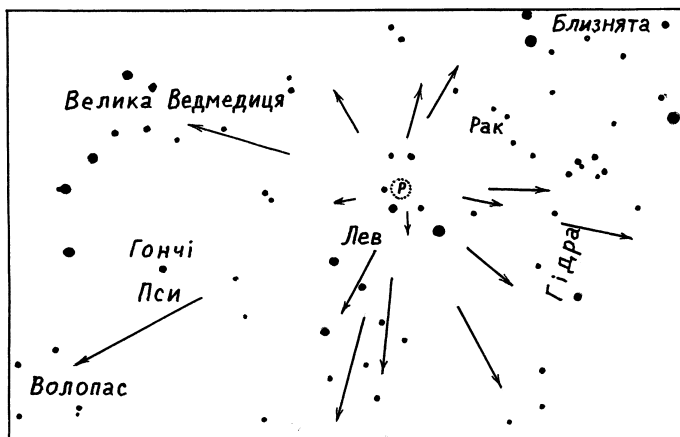


Рис. 6.1 Радіант метеорного потоку (P) Леонід

У просторі шляхи метеорів майже паралельні, а їх «виліт» із радіанта обумовлений перспективою.

У багатьох випадках визначено зв'язок метеорних потоків з кометами, які з часом розпадаються на окремі частини і стають «матеріалом» для метеорних дощів. Іноді велике метеорне тіло не встигає випаровуватися в атмосфері й досягає поверхні Землі. Цей залишок метеорного тіла називають *метеоритом*. Протягом року на Землю падає близько 2000 метеоритів. У різних музеях світу зберігається не менше 500 т метеоритної речовини. Загальна кількість її, що випадає на Землю щодоби, оцінюється дуже неточно, десь від 10 до 100 т.

Дуже яскраві метеори називають *болідами* (від гр. βολιδος — металний спис). Їхні сліди видно іноді до 20 хвилин. Особливо яскраві боліди можна побачити й удень.

Положення радіантів на небесній сфері майже незмінне, і це дає змогу називати їх латинським ім'ям сузір'я, в якому той чи інший радіант розміщений. Наприклад, Персеїди, Драконіди тощо. Таку традицію започатковано у 1833 р., її продовжив англійський астроном *Вільям Деннінг* (1848–1931), складаючи зведений каталог метеорних радіантів. Назви потоків наводять у множині, тому що метеорний потік утворюють багато метеорів.

Загалом на сьогодні виявлено вже близько 1000 радіантів метеорних потоків, обчислено орбіти понад 350. Деякі з цих потоків наведені в таблиці 13-Б Додатка. Оскільки сузір'їв є всього 88, то в назві

метеорного потоку часто вказують зорю, поблизу якої є радіант. Наприклад, α Каніс-Майориди, α Ліриди, β Ліриди тощо.

Щоправда, є метеорний потік Квадрантиди, хоча такого сузір'я немає. Сузір'я Квадрант у 1795 р. запровадив французький астроном *Жозеф Лаланд* (1732– 1807). І хоча Квадрант ліквідували в 1922 році (зараз це північна частина Волопаса), назва метеорного радіанта залишилася.

Оскільки потоки мають деяку товщину, Земля перетинає їх на протязі від кількох діб до кількох тижнів. При цьому координати радіанта дещо змінюються (зміщення, або дрейф, радіанта). Координати радіантів, наведені в нашій таблиці, стосуються дат максимумів, коли Земля перетинає найгустішу частину потоку.

Найбільше одиничних метеорів протікає поблизу *апекса* (від лат. *apex* — верхівка) — точка на небесній сфері, в напрямі якої в цей момент рухається Земля під час обертання навколо Сонця. Ця точка є на екліптиці на 90° позаду Сонця, наприклад, уранці — у південній частині небосхилу (рис. 6.2). Тому кількість метеорів зростає до ранку. Скажемо так: Земля рухається вперед тим боком, де на ній у цей час ранок. Тому тут в атмосферу можуть влітати метеорні частинки, які рухаються у всіх напрямках, оскільки Земля на них «набігає». Не вечірню частину земної поверхні випадають лише ті частинки, які самі доганяють Землю.

Підготовка до спостережень. Місце для спостережень треба обирати таким чином, щоб спостережна ділянка неба була добре видною, а спостерігач був захищений від джерел світла. Перед спостереженнями пропонується провести 10–15 хвилин в абсолютній темряві.

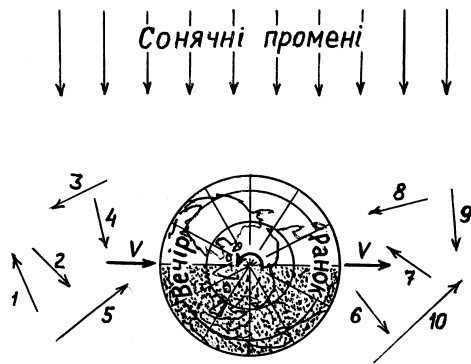


Рис. 6.2. Зустрічні й наздоганяючі метеори. Стрілкою V вказано рух Землі по орбіті, нумерованими стрілками — напрям та швидкість метеорних частинок. Видно, що ліворуч, над «вечірньою» півкулею, Землю наздожене тільки частинка 5, тоді як праворуч, над «вранішньою» півкулею, майже всі частинки зіткнуться із Землею

Для спостережень необхідні наступні предмети: зручне крісло, столик, карта зоряного неба, журнал спостережень, олівець, лінійка, годинник (бажано із секундною стрілкою), кишеньковий ліхтарик. Світло ліхтарика не повинно бути яскравим, щоб спостерігач відразу після запису спостережень в журнал міг бачити слабкі зорі. Для послаблення світла ліхтарика його можна обгорнути в червоний папір або тканину, або краще вставити у ліхтарик червоне скло.

Спостереження метеорів бажано проводити в ясні безмісячні ночі. Спостереження проводяться, при можливості, декілька ночей поспіль. Місяць не заважає спостереженням упродовж 15–20 днів.

Будь-які спостереження метеорів супроводжуються записом в журнал таких даних:

1) дата спостереження (рік, місяць, число) з урахуванням того, що нічні спостереження охоплюють звичайно частини двох діб;

2) поправка годинника, час (місцевий, всесвітній і т. п.), початку та кінця спостережень;

3) місце спостережень (назва пункту);

4) які проводяться спостереження;

5) умови спостереження (де знаходиться Місяць, чи є на небі хмари);

6) стан спостерігача (бадьорий, втомлений);

7) прізвище спостерігача.

За метеорами зручно спостерігати лежачи, обмеживши споглядання круглою рамкою (рис. 6.3). Найпростішими є **візуальні спостереження чисельності метеорів**. Спостерігач слідкує за певною ділянкою неба і підраховує окремо кількість яскравих і слабких метеорів, що спалахують і згасають в цій ділянці за певні рівні проміжки часу (20 хвилин, 30 хвилин, 1 година), відмічаючи за годинником моменти початку і кінця спостережень. Оскільки метеор може вийти за межі рамки або увійти в неї, то користуються такими позначеннями: (+ +) — метеор з'явився і зник усередині рамки, (– +) — початок метеора поза, а кінець усередині рамки, (+ –) — початок усередині, а кінець поза рамкою, (– –) — початок і кінець поза рамкою. Напрямок руху метеора вказують за годинниковою стрілкою, причому за 12 годин приймають zenit (рис. 6.4). Якщо метеор пролетів у напрямку zenitu, то записують число 12. Якщо він пролетів праворуч, то цей напрямок характеризується цифрою 3. При прольоті донизу від zenitu пишуть цифру 6, і якщо ліворуч — то 9. З накопиченням досвіду, при необхідності вказують проміжні «години».

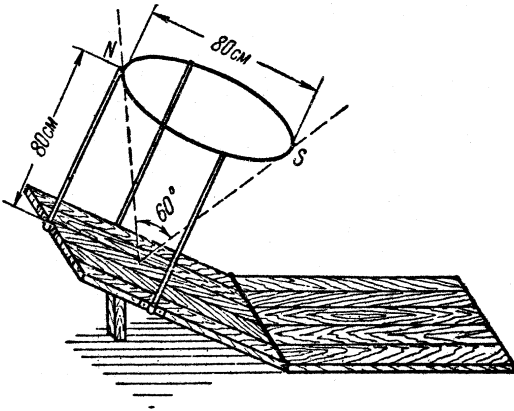


Рис. 6.3. Спостереження метеорних потоків за допомогою обмежувальної рамки

вати блиск метеорів у зоряних величинах, то спостереження доповнюють записами блиску кожного метеора.

Спостерігати за метеорами потрібно удвох: один — спостерігач, другий — секретар, який реєструє номер метеора, момент його прольоту з точністю до хвилини, зоряну величину m , швидкість і напрям руху, положення щодо рамки, інші особливості (зенітна відстань середини сліду метеора, наявність сліду, спалахів тощо).

Загальний чистий час спостережень за ніч повинен бути не меншим двох-трьох годин, причому слід строго фіксувати моменти початку і кінця спостережень та час перерви для відпочинку.

Спостереження можна проводити і групою по чотири-п'ять осіб. У цьому випадку кожен спостерігач має свою обмежувальну рамку, або ж усі розмішуються під загальною

Підрахунки метеорів учені використовують для визначення найважливіших характеристик метеорних потоків: щільності у просторі та розподілу в них частинок за масами. Отже, завдання це важливе і цілком під силу аматорам астрономії.

Якщо спостерігач добре вивчив шкалу зоряних величин і може впевнено оцінювати

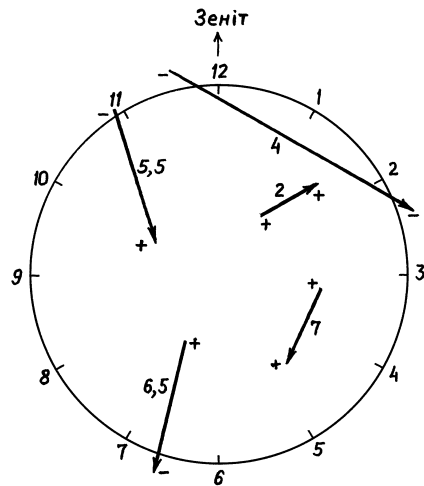


Рис. 6.4. Визначення положення і напрямку метеорів за «правилом циферблата»

великою рамкою (рис. 6.5). Секретар повідомляє спільний для всіх номер метеора і час прольоту, а кожен спостерігач, не відриваючи погляду від неба, на складеній багатократно смужці паперу наосліп записує свої спостереження.

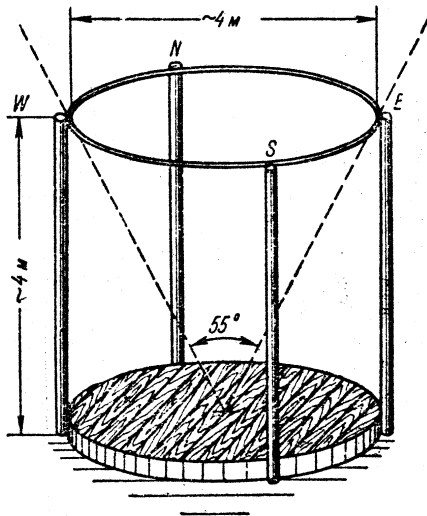


Рис. 6.5. Рамка для лічби метеорів для кількох спостерігачів, діаметр кільця 4 м

Згодом у журналі записують зведений протокол спостережень. Під час спостережень не можна замінювати одного спостерігача іншим.

Зазначимо, що для правильного визначення зоряної величини метеора бажано знати напам'ять зоряні величини приблизно 100 зір, рівномірно розкиданих по небу. Досвідчені спостерігачі, оцінюючи зоряну величину метеора, досягають точності $\pm 0,25^m$.

При більш повній програмі спостережень до попередніх оцінок додаються ще декілька. Отже, при підрахунку метеорів реєструються такі дані:

- 1) порядковий номер метеора, поміченого при спостереженнях;
- 2) момент прольоту метеора з точністю до хвилини (встановлюється секретарем) T ;
- 3) зоряна величина метеора в максимумі блиску m ;
- 4) напрямок прольоту метеора (за рис. 6.4);
- 5) положення метеора відносно рамки;
- 6) кутова швидкість метеора. Вона оцінюється в балах так: стаціонарний — 0, дуже повільний — 1, повільний — 2, достатньо повільний — 3, середній — 4, достатньо швидкий — 5, швидкий — 6, дуже швидкий — 7, надзвичайно швидкий — 8. Спочатку можна користуватися не всіма балами, а через один, а з надбанням досвіду переходити до проміжних. Швидкість повільного метеора (2 бали) нагадує швидкість літака, що летить невисоко, а швидкого (6) — птаха, що пролітає близько;
- 7) тривалість прольоту метеора τ — оцінюється в секундах. Спостерігач повинен деякий час потренуватися у відліку малих проміж-

ків часу із секундоміром. Поступово виробляється певна шкала часу, котра пов'язана з істинним часом лінійною залежністю;

8) колір — оцінюється в умовній шкалі Остгофа: біло-блакитний — -2 бали, блакитно-білий — -1, чисто білий — 0, жовтувато-білий — 1, білувато-жовтий — 2, світло-жовтий — 3, чисто жовтий — 4, темно-жовтий — 5, червоно-жовтий — 6, помаранчевий — 7, чисто червоний — 8, темно-червоний — 9;

9) належить метеор до потоку чи він спорадичний;

10) примітки — описуються особливості метеора, наприклад, наявність спалахів, сталість метеорного сліду та інші.

Визначення радіантів метеорів. Спостереження метеорних потоків проводяться з метою перевірки існування тих або інших радіантів, уточнення їхніх координат, виявлення нових радіантів.

Можна поставити за мету перевірку існування і вивчення відомих радіантів. Цікаві результати можуть бути отримані, якщо систематично (упродовж кількох років) слідувати за радіантами, котрі давали в окремі роки значну кількість метеорів.

Цінність спостережень підвищується, якщо проводити їх безперервно серіями багато ночей поспіль, спостерігаючи визначену ділянку неба. Тоді можна встановити термін дії кожного метеорного потоку, знайти хід чисельності метеорів на протязі цього терміну.

Для визначення радіанта метеорного потоку необхідно нанести на зоряну карту шляхи метеорів і продовжити їх назад до взаємного перетинання. Для того, щоб спостерігати який-небудь метеорний потік, необхідно знати, в який час діє цей потік і в якій ділянці зоряного неба. Обравши метеорний потік і знаючи положення його радіанта, спостерігач бере відповідну карту зоряного неба (можна, наприклад, використовувати Зоряний атлас О. О. Михайлова). Потім, щоб не псувати карти атласу, бажано скопіювати цю ділянку на чистий аркуш паперу. При спостереженнях, помітивши політ метеора, необхідно деякий час, не зводячи очей з неба, запам'ятати шлях метеора і відмітити ті точки, в яких метеор з'явився і зник. Для цього можна використати лінійку. Треба підняти її на витягнутій руці та спроектувати (по пам'яті) вздовж траєкторії метеора. Тоді можна легше відмітити де почався і закінчився шлях метеора на тлі зоряного неба. Важливо точніше відмітити початкову і кінцеву точки траєкторії. Після цього необхідно шлях метеора перенести на карту зоряного неба і з'єднати прямою лінією початок і кінець шляху метеора, вказавши стрілкою напрямок його польоту і записавши порядковий номер. Під

цим самим номером дані про політ метеора заносяться в журнал спостережень. Оскільки мета спостережень — найточніше нанести на карту шлях метеора, то для початківця не треба намагатися наносити неодмінно всі метеори, що спостерігалися.

Наступного дня після спостережень проводиться їх обробка. Із зоряної карти знімаються екваторіальні координати (α і δ) початку і кінця шляху кожного метеора.

Визначити радіант, користуючись звичайною картою зоряного неба, в більшості випадків неможливо, оскільки вона побудована у невідповідній для цієї мети проекції. Видимі траєкторії метеорів — це дуги великих кіл небесної сфери, котрі на звичайних картах можуть не бути прямими лініями. Нанесений на таку карту шлях метеора зображується прямою лінією умовно.

Шлях метеора буде прямолінійним лише на карті, яка побудована в *гномонічній проекції*. Це — проекція небесної сфери на площину, що дотикається небесної сфери в обраній нами точці. Таким чином, для отримання радіанта необхідна особлива координатна сітка (рис. 6.6). Тут M_0X і M_0Y — дві взаємно перпендикулярні осі координат. На початку координат (точка M_0) площина проекції дотикається небесної сфери. В даному випадку ми обрали точку M_0 таким чином, щоб її годинний кут $t_0 = 0^\circ$, а схилення $\delta_0 = +30^\circ$. Така сітка зручна для обробки спостережень у наших широтах. Можна побудувати і інші гномонічні сітки, наприклад з $\delta_0 = +45^\circ$. Прямі лінії, що йдуть із точки T_p радіально, — це зображення кіл схилень. Їхні годинні кути t вказані (у градусах) біля кожної із прямих на всіх частинах рамки від $t = 0^\circ$ до $t = 360^\circ$ через 10° . Добові паралелі зображені дугами (екватор — пряма). Поруч із кожною дугою вказане відповідне схилення від -20° до $+90^\circ$ через 10° . Знаючи координати будь-якої точки t і δ , можна знайти за цими лініями її розташування на сітці.

Одну гномонічну сітку можна використовувати для обробки спостережень упродовж ряду ночей. При цьому необхідно вести суцільну нумерацію метеорів.

Сітку для роботи бажано збільшити та провести координатні лінії через 5° . Для цього необхідно скористатися таблицею 14-Б Додатка, в якій вказані прямокутні координати x і y для більшої сукупності значень t і δ . Спочатку розмічуємо прямокутну сітку координат від -150 до $+150$ по осі X та від -150 до $+300$ по осі Y , а потім для кожної потрібної точки перетину координатних ліній беремо з таблиці окремо

абсцису та ординату і наносимо точки на креслення. Достатньо зробити це для одної половини сітки, оскільки вона симетрична. Маючи добрі лекала та креслярські навички, можна ще зекономити працю, пропускаючи деякі точки.

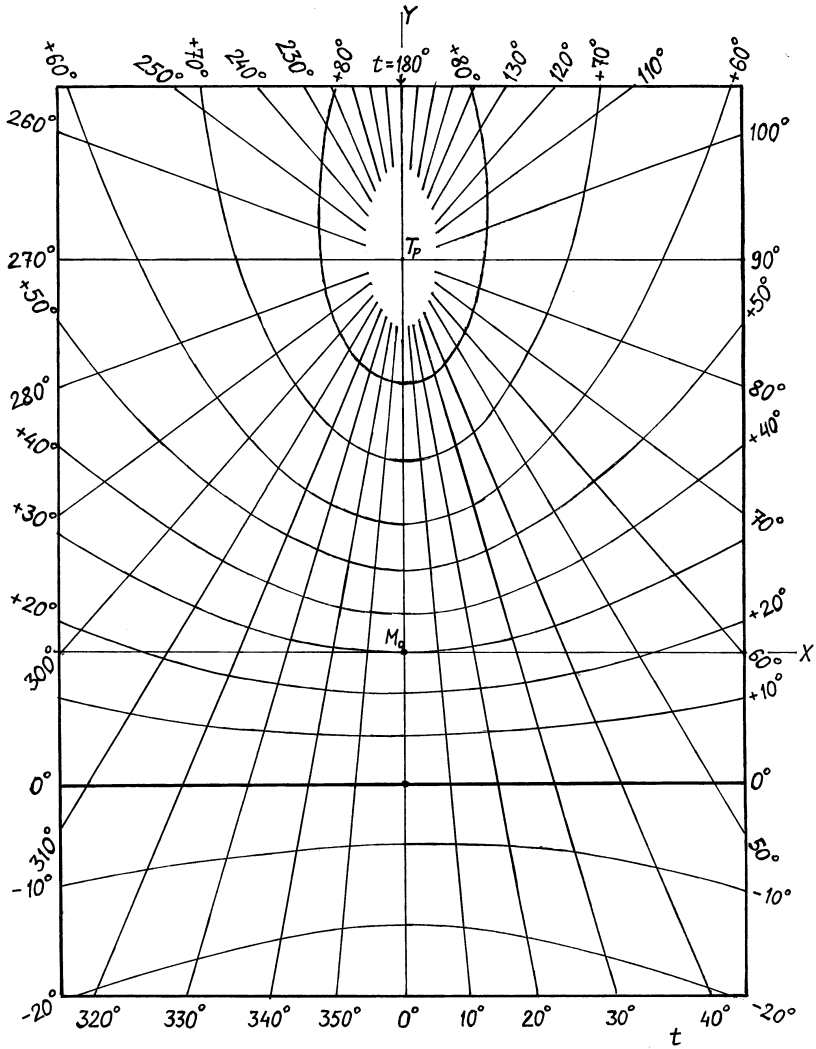


Рис. 6.6. Гномонічна координатна сітка

Тепер можна приступати до подальшої обробки спостережень. Треба перенести зняті зі звичайної карти зоряного неба координати точок початку (α_1, δ_1) і кінця (α_2, δ_2) шляху метеора на гномонічну сітку (звичайно α виражається в годинах (h) і хвилинах (m) годинної міри (секунди нам не знадобляться); їх треба перевести в градусну, враховуючи, що $1^h = 15^\circ$, $1^m = 0,25^\circ$), з'єднати їх прямою лінією зі стрілкою на кінці шляху. Отримані для всіх метеорів прямолінійні шляхи необхідно продовжити назад у зворотному напрямку. Точка їх перетину і буде шуканим радіантом метеорного потоку, необхідно зняти його координати і записати.

Однак на практиці шляхи всіх метеорів, що належать даному метеорному потоку, можуть перетинатися не в одній точці, а виходити із невеликої площадки, яка називається *площею радіації*. Радіант знаходиться десь всередині цієї площадки. Вважається за нормальне, якщо шляхи метеорів перетинаються у крузі радіусом $1,5^\circ - 2^\circ$, а за радіант приймається центр тяжіння площадки перетинань (найбільше згущення).

При спостереженнях метеорних потоків зустрічається велика кількість метеорів, що не належать даним потокам. Їх слід виключити із обробки. Для цього необхідно використати наступні критерії. Вважається, що радіант існує, якщо виконуються наступні умови:

1) якщо не менше чотирьох метеорів, які спостерігалися на протязі однієї ночі, мають шляхи, що перетинаються всередині площадки з діаметром в 2° ;

2) якщо три метеори, які спостерігалися на протязі однієї ночі, і два метеори, які спостерігалися у наступну ніч, задовольняють тій самій умові;

3) зі всіх спостережених в одну ніч метеорів в радіанті перетинається наступне число продовжених шляхів метеорів: 4 із 10, 6 із 40, 7 із 60, 8 із 80, 10 із 100;

4) якщо спостерігався стаціонарний метеор, і спостерігач бачив його як точку, що яскраво спалахнула; положення такого метеора визначає радіант без побудов.

Якщо спостереження на протязі однієї ночі дають не один радіант, а декілька, то це означає, що діяло декілька метеорних потоків.

Сліди від метеорів. При прольоті крізь розріджені шари земної атмосфери метеорні частинки іонізують молекули і атоми повітря, і тому на шляху їх проходження в атмосфері утворюються довгі, на багато кілометрів та досить товсті «шнури» розжарених та частково

іонізованих газів, так звані іонізаційні трубки. Власне, це й є метеор, що ми бачимо, бо роздивитися малесенький метеороїд із Землі неможливо. Після прольоту частинок в іонізаційних трубках відбувається процес відновлювання молекул і атомів газів, при якому вони віддають енергію, отриману ними від метеорних частинок. Ця енергія виділяється у вигляді електромагнітних хвиль, у тому числі і світлових, якщо енергія збудження була великою. Тоді на шляху польоту метеора, вже після його згасання, спостерігається слабке світіння, яке називається *метеорним слідом*. Метеорні сліди, помітні неозброєним оком, виникають тільки після яскравих метеорів, породжених частинками з великою кінетичною енергією.

Більшість метеорних слідів дуже швидко, буквально через декілька секунд, зникає. Але іноді виникають і стійкі сліди, які існують декілька хвилин. Такі сліди здаються нерухомими, а потім повільно переміщуються на тлі зоряного неба, одночасно змінюючи свої розміри, форму та яскравість. Переміщення або дрейф метеорних слідів спричиняється повітряними течіями, і тому спостереження метеорних слідів дуже цінні для вивчення стану і руху верхніх шарів земної атмосфери.

Щоб продовжити час спостереження метеорних слідів, необхідно використати бінокль, який дозволяє також бачити сліди, непомітні неозброєним оком, для чого корисно переглядати в бінокль місця згасання яскравих метеорів. При спостереженнях метеорних слідів необхідно відмічати з точністю до 1 секунди моменти їх виникнення, проходження на тлі окремих зір (для цього треба добре знати зоряне небо), видозмінення розмірів і форми, а також зникнення. Ці форми бувають іноді настільки чудернацькими, що корисно, якщо є можливість, швидко їх замалювати, хоча б схематично. Якщо є світлосильна камера, варто організувати зйомку яскравих слідів. Звичайно, такі складні спостереження краще проводити колективно, групами із трьох-чотирьох спостерігачів, кожний з яких може взяти на себе строго визначені обов'язки. Зокрема, цікаво фіксувати в різні моменти часу колір сліду, який часто змінюється від сріблястого до зеленуватого, а іноді набуває і злегка червонуватого відтінку.

6.2. ПОШУК КОМЕТ

Відкрити комету — річ дуже складна, але приваблива. Адже відомо, що комету називають ім'ям того спостерігача, який першим її помітив та своєчасно повідомив про неї хоча б у найближчу астрономічну обсерваторію. Недавно вчені проаналізували, хто, як і коли відкрив комети протягом останніх 200 років. Як виявилось, у XIX ст. — 98 %, у XX ст. — 74 % комет відкрили аматори за допомогою звичайних біноклів, невеликих телескопів, а то й просто неозброєним оком. В наш час багато комет виявляють групи спостерігачів LINEAR та NEAT цілеспрямованим пошуком слабких комет, а також їх відкривають випадково на знімках, призначених для пошуку небезпечних астероїдів. Все ж аматор із невеликим інструментом може сподіватися відкрити комету, як нещодавно це вдалося австралійцю Лавджою .

У перекладі з грецького слово комета (κομήτης) означає «хвостатий», «довговолосий». Цікаво, що вслід за Аристотелем упродовж 1800 років учені дотримувалися думки, нібито комети — це згущення газів у верхніх шарах земної атмосфери. Лише датський астроном Тихо Браге (1546—1601), вимірюючи зміни положень комет на тлі зір протягом ночі, довів, що ці об'єкти принаймні ушестеро далі від Землі, ніж Місяць, а, отже, вони такі ж небесні тіла, як Місяць і планети.

У минулому найбільше комет за 26 років спостережень (аж 37) виявив француз *Жан Понс* (1761—1831). Спочатку він працював у Марселі сторожем при астрономічній обсерваторії. Згодом самотужки вивчив астрономію, власноручно побудував телескоп і на тій же обсерваторії почав працювати асистентом. У XX ст. японець Мінору Хонда, з 1940 по 1968 р. відкрив 12 нових комет. По 11 «хвостатих світил» виявили на небі А. Мркос (Чехія), Л. Пелт'є (США) та В. Бредфілд (Австралія). Застосовуючи сучасні методи, Роберт Мак-Нот далеко випередив попередників — до жовтня 2011 р. він відкрив 67 комет!

Обчислено, що в середньому комету вдається відкрити за 200—250 годин ретельних спостережень, хоча американець Уїтеккер у віці лише 16 років зміг цього досягти на третю ніч від початку пошуків.

Кожного року можна спостерігати 40—50 комет, з них кілька нових, решта вже спостерігалися раніше. Переважна більшість з них дуже слабкі, доступні тільки великим телескопам.

Як же виявити у безкрайньому зоряному океані це екзотичне світило, яке може увіковічнити ім'я першовідкривача? Відповідь проста: потрібні наполегливість і певна система.

Для спостережень використовують біноклярну трубу або добрий призматичний бінокль, який встановлюють на штативі. У спостерігача повинен бути атлас зоряного неба, на якому позначені туманності і зоряні скупчення (їх помилково можна сприйняти за комету). Бажано перш ніж оглядати ту чи іншу ділянку зоряного неба, вивчити її за картою. Це може бути атлас О. О. Михайлова (на картах нанесено зорі до $8,25^m$), атлас Бечваржа (зорі до $8,5^m$, туманності до $10-11^m$), окремі атласи Бечваржа: північного неба, екліптичної зони і південного неба, в яких зорі нанесено до $10-10,5^m$. Втім, згадані атласи — бібліографічна рідкість. Але зоряні карти й атласи можна знайти в Інтернеті, наприклад, «Атлас ВАГО» за адресою: meteoweb.ru/astro/satlas1.php.

Статистика свідчить, що на ранковому небі виявляють більше комет, ніж на вечірньому (як у випадку з метеорами). Однак оглядати небо розпочинають увечері. *У першій половині ночі оглядають західну і південно-західну частини неба.* Методика тут проста: бінокль чи трубу встановлюють на штативі й поступово зміщують уздовж кола висот (паралельно до горизонту) у південно-західній частині неба, потім оглядають верхній ярус у напрямі до зеніту. *У середині ночі починають оглядати північну частину неба, а на ранок — східну і південно-східну.*

Як тільки виявлено підозрілий об'єкт, слід перевірити його, зіставляючи небо з атласом або списком туманностей і зоряних скупчень. Потрібно також якнайточніше відмітити положення об'єкта серед зір. Коли комета проходить недалеко від Землі, вона може пересуватися на кілька градусів (і більше) за добу, отже, десь через годину вона вже помітно змінить своє положення серед зір. На відстанях більше астрономічної одиниці видиме переміщення менше помітне, тому підозрілий об'єкт треба продовжувати спостерігати. Потім слід перевірити, чи не є він планетою або вже відомою кометою, користуючись «Астрономічним календарем» на цей рік. На сайті minorplanetcenter.org/iau/Ephemerides/Comets/index.html аматор знайде розраховані заздалегідь ефемериди — щоденні дані на кожну очікувану комету, в тому числі координати (α і δ) та приблизний блиск. Коли всю цю роботу виконано, можна повідомити про відкриття Астрономічну обсерваторію Київського університету. Детальнішу інформацію про це слід надіслати листом. Варто звернутися на її сайт <http://www.observ.univ.kiev.ua/>.

У повідомленні слід також зазначити приблизну зоряну величину нового об'єкта, порівнюючи його із сусідніми зорями, зоряні величини котрих беремо з карти. Однак, *оскільки комета має вигляд ту-*

манної плямки, то її порівнюють з позафокальними зображеннями зір. Висуваючи окуляр, зорі виводять із фокуса доти, доки їхні розмиті зображення не стають подібними на зображення комети. Після цього вибирають дві зорі порівняння так, щоб одна з них була яскравішою, друга слабкішою від комети, і шляхом простого інтерполювання визначають блиск комети.

Дуже важливо, що наполеглива праця аматорів астрономії може дати велику користь не лише в пошуках нових комет, а й у вивченні вже відомих. Ефемериди комет, що проходять кожного наступного року через перигелій (на початок 2012 року вже відомо більше 250 комет, які періодично повертаються до Сонця), публікують в астрономічних щорічниках та на згаданому сайті. Отже, оцінки зоряної величини будь-якої комети, зроблені протягом тривалого часу, дають змогу виявляти закономірності зміни блиску комет зі зміною їхньої відстані до Сонця, вивчати коливання і спалахи блиску, пов'язані з сонячною активністю, з дією на ядра комет космічних променів сонячного і галактичного походження, а також інших факторів.

Дуже важливо зарисовувати зовнішній вигляд голів і хвостів яскравих комет, реєструвати будь-які прояви активності комети (викиди з ядра, його розпад тощо). Спостереження потрібні як візуальні, так і фотографічні.

Зараз відомо, що на великих відстанях від Сонця комета є брилою звичайного льоду і льоду з метану та аміаку, в яку вморожені уламки речовини типу звичайних для нас гірських порід. Це основна частина комети, її *ядро*.

Під час наближення до Сонця лід починає випаровуватися, навколо ядра комети утворюється протяжна оболонка, так звана *кома*, а згодом формується *хвіст* комети (рис. 6.7). Ядро комети з комою утворюють *голову*. Розміри коми іноді перевищують діаметр Сонця, а довжина хвоста досягає 200–300 млн км. При цьому маса найбільшої комети не перевищує 0,001 маси Місяця. Читач може сам приблизно оцінити середню густину комет. Це — «видиме ніщо», як висловився французький астроном XIX століття Бабіне.

Тільки-но виявлену комету раніше позначали числом, що означає рік відкриття, а потім малою літерою латинського алфавіту вказували черговість відкриття у цьому році (наприклад, 2012 *a*, 2012 *c*). Після того, як було обчислено орбіту комети і визначено час її проходження через перигелій, замість літери ставили римську цифру — вказівку на те, яка за чергою ця комета під час її проходження через перигелій.



Рис. 6.7. Комета Хейла-Боппа

У 1995 році Міжнародна астрономічна спілка (МАС) запровадила нову систему. Спочатку підрозділ МАС, Центральне бюро астрономічних телеграм (СВАТ), позначає нову комету роком відкриття або роком перших докладних спостережень, за яким іде латинська літера, що відповідає половині місяця (перша половина січня — А, друга половина січня — В, перше половина лютого — С і так далі, при цьому літери І та J вважаються за одну літеру), після цієї літери — порядковий номер відкриття в цій половині місяця. Наприклад, третя комета, відкрита у першій половині липня 2005 року позначається 2005 N3. В результаті подальших досліджень перед цим ставиться префікс: P/ — короткоперіодична, C/ — довгоперіодична (період порядку 100 і більше років), D/ — зникла або розпалася, X/ — орбіту не визначено, A/ — виявилось, що це астероїд. Наприклад, C/2011 O1. Після другої появи періодичної комети (або її другого проходження через перигелій) інший підрозділ МАС — Центр малих планет (МРС) присвоює постійне позначення порядковим номером (починаючи з 1 для комети Галлея), за яким іде вищезгаданий префікс (P, C, D). Решта комет зберігає позначення, надані СВАТ. Як і раніше, звичайно, перед усіма цими позначеннями (або після них) пишуть назву комети — прізви-

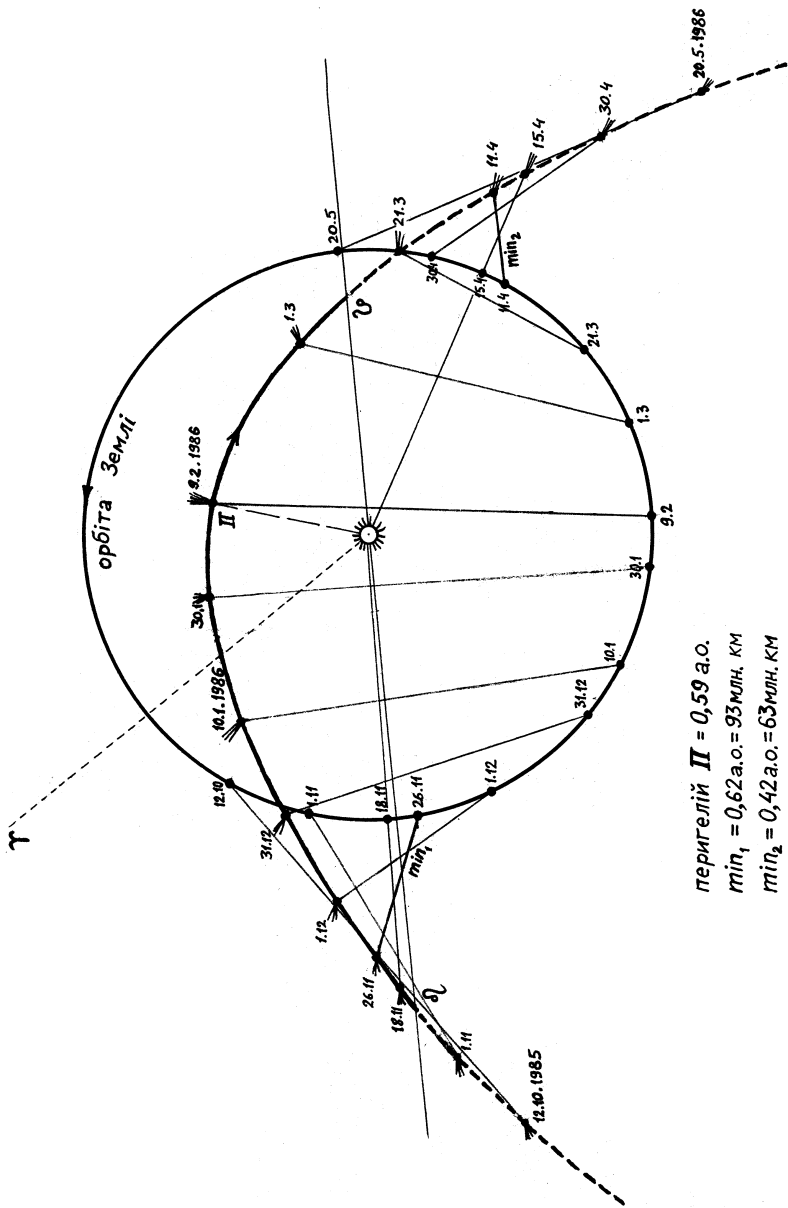
ща першовідкривачів, найбільш авторитетних дослідників (не більше трьох), або назву групи дослідників. Наприклад, комета Галлея 1P, (1P/Halley), комета Бієлі 3D (вона розпалася), комета Джексона-Неуйміна 58P, комета Мак-Нота C2011 R1.

Сьогодні вже виявлено біля 2000 комет, з них періодичних, які в наш час регулярно повертаються до Сонця, налічується майже 300. Найменший період обертання навколо Сонця ($T = 3,3$ року) має комета Енке-Баклунда 2P, яку відкрито у 1786 р. Найбільший період обертання ($T = 164,3$ року) в комети Грігга-Мелліша C/1907 G1 (відкрита ще у 1742 р.).

Визначено, що лише у трьох комет ексцентриситет $e \leq 0,40$, усі інші рухаються по дуже витягнутих орбітах. Крім того, кометам властива значна різноманітність кутів нахилу площини їхніх орбіт до площини екліптики. Це означає, що з однаковою імовірністю комету можна бачити на будь-якій кутовій відстані від екліптики (тоді, як, скажімо, планети увесь час перебувають поблизу неї).

Найвідомішою з усіх комет, що їх спостерігали дотепер, є комета Галлея 1P. Її у 1682 р. бачили Ньютон та його співвітчизник *Едмонд Галлей* (1656–1742). На основі виведеного Ньютоном закону всесвітнього тяжіння Галлей у 1704 р. довів, що ця комета періодична, її вже спостерігали в 1531 і 1607 рр. Галлей також передбачив її проходження поблизу Сонця у 1759 р. Ефектною вона була в травні 1910 р., пройшовши на відстані лише 23 млн км від Землі. Її тоді спостерігали як об'єкт 2^m , довжина хвоста досягала 20° . Однак її проходження поблизу Сонця у 1985–1986 рр. було майже недоступне для спостережень неозброєним оком в північній півкулі. У грудні 1985 р. вона наближалася до Сонця, але Земля швидко віддалялася від неї. Перигелій комета пройшла 2 лютого 1986 р. по той бік Сонця, а потім рушила у південну півкулю (рис. 6.8). Під час цього проходження її вивчали за допомогою чотирьох АМС. Виявлено, що ядро комети Галлея має розміри $16 \times 8 \times 8$ км і обертається навколо своєї осі з періодом 53 години. Маса комети виявилася дуже малою — $4 \cdot 10^{-11}$ маси Землі.

Галлей був не лише талановитим ученим, а й надзвичайно розумною людиною. Його коштом опубліковано книгу Ньютона «Математичні основи природознавства». Коли Галлей став директором Гринвіцької обсерваторії, йому запропонували збільшити платню, однак він відмовився, сказавши: «Не робіть цього, бо якщо місце директора стане давати прибуток, то на нього будуть претендувати вже не астрономи»...



перигелій $\Pi = 0,59$ а.о.
 $min_1 = 0,62$ а.о. = 93 млн. км
 $min_2 = 0,42$ а.о. = 63 млн. км

Рис. 6.8. Рух комети Галлея P1 у 1985—1986 рр.

У лютому — березні 1996 року можна було спостерігати комету Хіакутаке С/1996 В2. Вона виглядала як велика розмита світла куля із дуже слабким, тонким, довгим прямим, як під лінійку, хвостом. Його довжина перевищувала півтори астрономічні одиниці!

У квітні 1997 р. на північному заході звечора можна було спостерігати комету Хейла-Боппа С/1995 О1 із двома хвостами. Прямий, трохи блакитнуватий газовий хвіст був спрямований точно від Сонця (хвіст І типу, за класифікацією Бредихіна). Від нього відставав вигнутий жовтуватий пиловий хвіст ІІ типу.

2007 рік ознаменувався двома кометними сенсаціями. На початку того року наблизилася до Сонця комета Мак-Нота С/2006 Р1, відкрита 7 серпня 2006 р. В січні вона стала яскравішою за Венеру, а хвіст, майже такий само довгий, як у згаданій комети Хіакутаке, але був вигнутий і являв собою ціле віяло хвостів (рис. 6.9). На жаль, у північній півкулі Землі її було погано видно.



Рис. 6.9. Комета Мак-Нота

Протягом того ж року можна було спостерігати комету Холмса 17Р, відкриту ще у 1892 році. З тих пір це було вже її сімнадцяте наближення до Сонця і до Землі. Невидима неозброєним оком, вона восени 2007 року віддалялася від Сонця, і в жовтні ослабнула вже до

17-ї зоряної величини. Аж раптом, 24 жовтня 2007 р. комета Холмса зробилася у 400000 (!) разів яскравішою. Її стало видно неозброєним оком як туманну зорю третьої величини у сузір'ї Персея. Причиною були грандіозні викиди речовини з ядра комети.

27 листопада 2011 року австралійський аматор астрономії Террі Лавджой відкрив нову комету. Вона була 13-ї зоряної величини і швидко рухалася. Вже 16 грудня комета Лавджоя пройшла перигелій, причому на рекордно малій відстані від сонячної фотосфери — усього 140 тисяч кілометрів! Сонячні протуберанці інколи здійснюються значно вище. Цей небесний метелик, втім, вцілів біля вогню. Пройшовши скрізь внутрішню корону Сонця, комета не зазнала помітної шкоди і незворушно почала віддалятися. За підрахунками, вона повернеться через 565 років.

6.3. СПОСТЕРЕЖЕННЯ СРІБЛЯСТИХ ХМАР І ПОЛЯРНИХ СЯЙВ

Природа сріблястих хмар усе ще не розгадана, хоча їх почали спостерігати ще у 1885 р. Тому систематичні спостереження сріблястих хмар мають цінність для вивчення фізичних процесів, які відбуваються у верхніх шарах земної атмосфери. Можливо, вони складаються з вулканічного чи космічного пилу, а може, із кристалів льоду.

Сріблясті хмари видно ввечері після заходу Сонця або вранці перед його сходом, у період, коли Сонце опустилося під горизонт на 6–18°. Самі хмари розташовані у північній півкулі на широтах від 50° до 75°, у південній — від 40° до 60°. Над іншими широтами їх не виявлено.

Сріблясті хмари з'являються в теплу пору року — з травня по серпень, найчастіше у липні.

Іноді протягом сезону реєструють 20–30 їхніх появ. Виявлено, що ці об'єкти є на висотах 80–85 км, отже, їх видно з відстаней до 900–1000 км. Таким чином, їх можна спостерігати в північній півкулі, починаючи з широти 45°, тобто по всій території України.

Програма їхніх досліджень передбачає такі напрями:

вивчення географічного поширення і сезонної частоти появи;

вивчення змін висоти шару сріблястих хмар та їхніх окремих груп залежно від часу доби, сезону і географічного положення;

вивчення руху;

вивчення оптичних властивостей сріблястих хмар.

Звичайно, не всі пункти програми під силу аматорові. Однак частоту появи сріблястих хмар, їхню структуру, тривалість існування

(а вона коливається від декількох хвилин до декількох годин), яскравість вони можуть визначити.

За зовнішнім виглядом сріблясті хмари поділяють на чотири типи, кожен з них — на дві-три групи в міру посилення їхніх характерних ознак.

Тип I — *флер* — найпростіша форма сріблястих хмар, які мають завдяки їхній туманоподібній будові ніжно-білий чи голубуватий відтінок. Досить часто приблизно через півгодини після появи видно сріблясті хмари з більш розвинутою структурою (рис. 6.10 а).

Тип II — *смуги* — розмиті смуги, розташовані групами, паралельні одна до одної або переплетені між собою під невеликим кутом (рис. 6.10 б).

Тип III — *гребінці* — ділянки з частим розташуванням вузьких, різко окреслених, паралельних, звичайно коротких смуг подібно до бриж на поверхні води при слабкому пориві вітру (рис. 6.10 в).

Тип IV — *вихори* — завихрення і круглі просвіти радіусом до $0,5^\circ$ (група IV-а), або у вигляді простого згину одної чи декількох смуг від основного напрямку в бік з радіусом $3-5^\circ$ (група IV-б), або потужні вихорові викиди світлої речовини вбік від основної хмари (група IV-в) (рис. 6.10 г).

Спостереження полягають у щоденному огляді присмеркового неба. Результати його через кожні 15 хвилин фіксують у журналі, причому час вказують з точністю до 1 хвилини. Якщо сріблясті хмари бачать, то оцінюють їхню яскравість за п'ятибальною шкалою: 1 — дуже слабкі; 2 — зауважити легко, але мають дуже малу яскравість; 3 — добре помітні, чітко виділяються на тлі присмерків; 4 — яскраві, звертають на себе увагу; 5 — винятково яскраві. Вказують також їхню форму. Сучасні цифрові камери дозволяють отримувати дуже цінну інформацію. Особливо цікаво знімати сріблясті хмари одночасно із двох пунктів на відстані кількох кілометрів один від одного, підтримуючи телефонний зв'язок для синхронізації знімків. Можна у такий спосіб отримати стереопару, чи як зараз кажуть, 3D-зображення.

Полярні саява — це світіння верхніх (від 100 до 1000 км) розріджених шарів земної атмосфери, яке виникає під час вторгнення в земну атмосферу потоків швидких електрично заряджених частинок, що стикаються з атомами й молекулами повітря і збуджують їх. Переважають кольори червоний (випромінює атомарний кисень) і зелений (молекулярний азот). Найчастіше полярні саява виникають у двох кільцевих зонах, що оточують обидва полюси Землі (рис. 6.11).



Рис. 6.10. Типи сріблястих хмар: *а* — флер, *б* — смуги



Рис. 6.10 (закінчення). Типи сріблястих хмар: *в* — гребінці, *г* — вихори

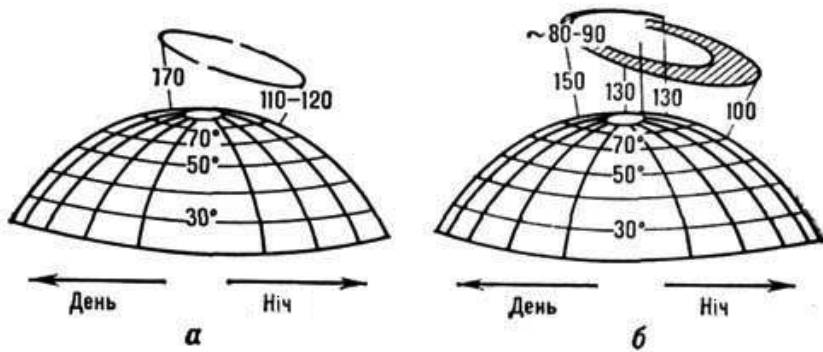


Рис. 6.11. Овали полярних сьйв над поверхнею Землі в магнітно-спокійні періоди (зліва) і зони в магнітно-збурені періоди. Числами позначено висоту овалу над поверхнею Землі в кілометрах

На географічній широті 60–75° за сприятливих умов полярні сьйва можна бачити майже кожної безхмарної ночі. У період магнітних бур вони з'являються в середніх і низьких широтах, а під час найбільш сильних бур простежуються навіть на земному екваторі.

Візуальні спостереження полярних сьйв відіграють важливу роль. Такі спостереження містять цінну інформацію, оскільки дають змогу відмічати швидкі пульсації в інтенсивності сьйва і швидкі рухи всередині них, а дифузні форми сьйв (плями та вуаль) взагалі майже непомітні на фотографіях.

Візуальні спостереження доповнюють спостереження фотографічні, які регулярно виконують у високих географічних широтах. На рис. 6.12 наведено фотографії деяких полярних сьйв.

Згадані потоки швидких заряджених частинок — це, головним чином, результат активних процесів, які відбуваються на поверхні Сонця і в його атмосфері, тобто частинки *сонячного вітру*, до яких долучаються в моменти підвищеної сонячної активності частинки, прискорені до високих швидкостей у зонах сонячних спалахів. Саме в роки максимумів сонячної активності полярні сьйва видно у нижчих широтах. Отже, ці спостереження можна деякою мірою планувати наперед і навіть прогнозувати, оскільки потоки прискореної внаслідок спалаху на Сонці речовини досягають Землі приблизно через дві доби. Аматор із світлосильною цифровою камерою може сподіватися отримувати цікаві знімки, якщо, звісно, він регулярно спостерігає небо за умов відсутності перешкод від штучного освітлення.



Рис. 6.12. Фотографії полярних сійв



Рис. 6.12 (закінчення). Фотографії полярних сяїв

7. ЗОРІ. ТУМАННОСТІ. ГАЛАКТИКИ

Хоча уявлення про зорі як про далекі сонця зародилися ще в давній Греції, однак упродовж понад 2000 років про них не було відомо практично нічого, за висловом французького філософа Огюста Конта (1798–1857), «крім того, що вони існують». Услід за Сократом (469–399 до н. е.) Конт стверджував, що люди про ці об'єкти так і не дізнаються нічого. А тому «заняття астрономією — це марна трата часу, яка не може дати ні корисних, ні цікавих результатів...»

У відповідь Конту німецькі фізики *Густав Кірхгоф* (1824–1887) і *Роберт Бунзен* (1811–1899) у 1859 р. розробили метод спектрального аналізу. З того часу астрофізика з'ясувала багато найважливіших питань, що стосувалися як природи зір і джерел їхньої енергії, так і проблем їхнього походження та розвитку. Хотілося б сказати, що ми вже знаємо про те, як формувалися велетенські зоряні системи — далекі галактики, і про те, «звідки взявся» цей неосяжний Всесвіт — з невеличкої («мікромікроскопічної») комірочки, з вакууму, у якому під дією деякої творчої сили за наявності «у початковий момент» часу фантастично високої температури (понад 10^{30} K) і подальшого різкого розширення (говорять про «роздування») породжувалися важкі частинки — бозони (перший фазовий перехід), які розпадалися на легші частинки з дробовим електричним зарядом — кварки, а ті при подальшому зниженні температури об'єдналися у звичні для нас протони і нейтрони (другий фазовий перехід) і вже після цього — вихід на спостережувану стадію розширення світу галактик. Але на такому глибокому рівні зараз розроблено стільки різноманітних теорій, краще сказати, гіпотез, а до перевірки їх спостереженнями та дослідями так далеко, що ми тут облишимо ці вкрай цікаві, але мало обгрунтовані речі і зосередимось на надійно встановлених фактах.

Розпочнемо з елементів фізики зір, спектрального аналізу, проблеми джерел енергії зір і спектральної класифікації зір. Зоряний світ вкрай цікавий як для споглядання, так і до роботи, яка може мати наукову цінність.

7.1. ОСНОВИ ФІЗИКИ ЗІР

Зоря — це велетенська газова куля, в якій температура, густина газу і тиск зростають з глибиною у напрямі до центра. Завдяки цьому і забезпечується рівновага, тобто *стаціонарний стан* зорі: силу тяжіння, яка діє на кожний елемент її маси і спрямована до центра зорі, зрівноважує різниця тисків, що діють на цей елемент знизу і зверху. Образно кажуть: одна сила (тяжіння) намагається стиснути всю речовину в одну «точку», інша (сила тиску) — розпорошити її у міжзоряний простір. Ця «боротьба» двох сил триває упродовж усього «життя» зорі й власне визначає особливості її розвитку.

Отже, на поверхні (кажуть умовно, бо в газовій конфігурації твердої поверхні у нашому розумінні немає) Сонця, як зорі, температура 6000 К, у центрі — 14000000 К. Для білих зір ці числа орієнтовно удвічі більші. Саме колір зорі свідчить про її поверхневу температуру (температуру її зовнішніх шарів, звідки надходить до нас її випромінювання): у червоних зір вона становить 3000 К і менше, у жовтуватих — 6000 К, у голубувато-білих — 12000 К, голубих — понад 20000 К. Звичайно, жоден термометр неможливо проградуювати до десятків тисяч градусів, отже, температура, «на поверхні» зір (і Сонця) — так звана *ефективна температура* — «вимірюється» порівнянням випромінювання зорі із випромінюванням не таких гарячих штучних джерел з урахуванням законів випромінювання.

Кожну зорю характеризують деяке значення маси M , радіуса R , потужності, або ж світності L , і середній хімічний склад. Залежно від температури зовнішніх шарів (атмосфери) зорі атоми різних хімічних елементів перебувають у різних стадіях іонізації. Наприклад, при температурах 20000–50000 К водень в атмосфері зорі іонізований повністю, і його ліній у спектрі не буде. При температурі атмосфери 6000 К найінтенсивнішими є лінії металів, тоді як при 3000 К — молекулярні смуги. Тому, глянувши на спектр зорі, можна досить точно визначити температуру її поверхні. Водночас аналіз спектрів зір дав змогу дійти висновку, що у зовнішніх, доступних для спостережень, шарах більшості зір водню є 90 % за кількістю частинок, гелію близько 9 % і лише 1 % усіх інших хімічних елементів. Однак трапляються і винятки: є зорі, в атмосферах яких дуже багато гелію, ще в інших атмосфери складаються головним чином з вуглецю тощо. Усе це є відображенням складних процесів, які відбуваються в надрах зір під час їхнього розвитку.

Інформацію про 102 найяскравіші і 40 найближчих зір наведено в табл. 4-В і 5-В Додатка.

Спектральна класифікація. За особливостями свого спектра (інтенсивністю тих чи інших ліній) кожна зоря належить до деякого *спектрального класу*. Загальноживаною є Гарвардська класифікація (створена у Гарвардському університеті, США), спектральні класи в якій позначено латинськими літерами в такій послідовності:

O — B — A — F — G — K — M

Для більш точної спектральної класифікації зір вживають числові індекси. Кожен спектральний клас поділяється на 10 підкласів (від 0 до 9: наприклад, A0, A1, A2, A3, ..., A9, F0, ...).

Підкласи починаються з O3. Згодом у спектральних класах доведлося ввести дрібніші підрозділи, наприклад: O9,5; B3,5; A7,5 тощо. Умовно прийнято кожний наступний клас іменувати пізнішим від попереднього. Загалом же класи O, B, A і F називаються ранніми, класи G, K, M — пізніми.

Для запам'ятовування послідовності спектральних класів придумано декілька жартівливих фраз, як ось англійською мовою: *Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me*.

Останнім часом виявлено самосвітні об'єкти, дуже слабкі та холодні. Вони, власне кажучи, не є зорями, бо в них не йдуть термоядерні реакції. Але для них теж запровадили спектральні класи, більш пізні, ніж M: L (температура поверхні є у межах від 1300 К до 2200 К), T (температура близько до 1000 К), Y (температура поверхні нижча за 600 К). Це — *коричневі карлики*.

Основним критерієм спектральної класифікації є інтенсивність атомних спектральних ліній і молекулярних смуг (рис. 7.1).

У спектрах нечисленних зір класу O видно лінії іонізованого гелію та сильно іонізованих атомів азоту, вуглецю, кисню. За кольором ці зорі голубі. Ефективна температура перевищує 30000 К. До цього класу належать, наприклад, крайні зорі «поясу» Оріона — δ (Мінтака) та ζ (Альнітак).

У спектрах голубуватих зір класу B є багато ліній нейтрального гелію, а також азоту, вуглецю і кисню, але в нижчих стадіях іонізації. Добре помітні лінії водню. Ефективна температура є у інтервалі від 10000 К до 30000 К. Із численних зір цього класу згадаємо Спіку (α Диви), Регул (α Лева), Рігель (β Оріона).

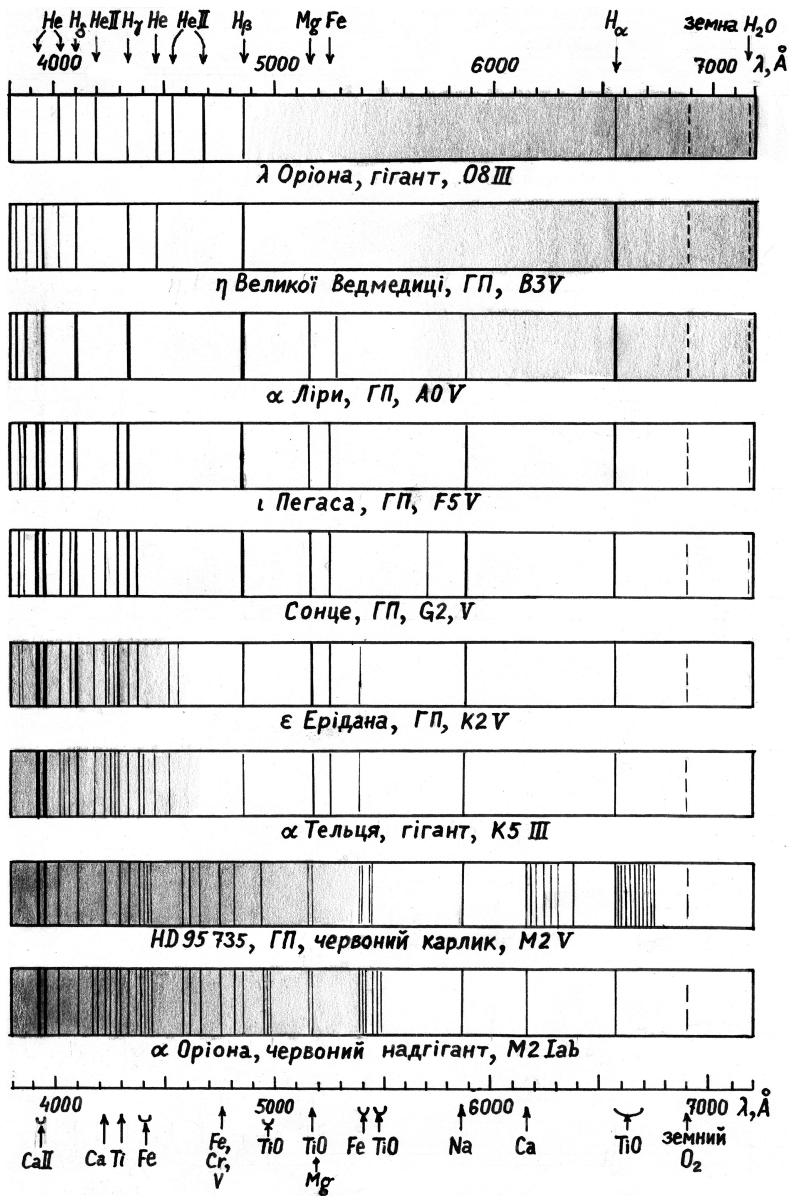


Рис. 7.1. Спектри зір різних спектральних класів

У спектрах зір класу А (голубувато-білі зорі) найінтенсивнішими є лінії водню, так звані *бальмерівські*, тоді як лінії гелію відсутні. Нагадаємо, що атом водню має тільки один електрон, і значення енергії такого атома утворюють гармонійну послідовність. Тому спектральні лінії розташовані теж гармонійно, «збігаючись» на фіолетовому кінці спектра. Цю закономірність виявив швейцарський вчитель Бальмер, на честь якого ці лінії й названо. Ефективні температури зір класу А від 7300 К до 10 000 К. Таких зір теж багато: Сіріус (α Великого Пса), Вега (α Ліри), Альгаір (α Орла).

Клас F — це білі, трохи жовтуваті зорі. Крім інтенсивних ліній водню у спектрі видно багато ліній металів. Ефективна температура у межах 5600 К — 7700 К. Представник — зоря Проціон (α Малого Пса).

Клас G — жовтуваті зорі, подібні до Сонця (яке належить до підкласу G2). Головними у спектрі є лінії металів. Ефективна температура тут 4500 К — 6000 К. Типовим представником (крім Сонця) є зоря Капелла (α Візничого).

Клас K — численні жовто-оранжеві зорі. У їхніх спектрах виділяються лінії одноразово іонізованого кальцію та нейтрального заліза. У підкласі K5 уже з'являються смуги поглинання молекул. Значення ефективної температури є у межах 3700 К — 5300 К. Представники — Арктур (α Волопаса), Альдебаран (α Тельця), Хамаль (α Овна).

До класу M належать червонуваті зорі зі смугастим спектром, у якому особливо виділяються смуги оксиду титану TiO. Ефективна температура нижча за 3700 К. Представники — Бетельгейзе (α Оріона) та Антарес (α Скорпіона).

Для розширення можливостей класифікації введено додатково ще два спектральних класи. Так, зорі спектрального класу C мають такі ж спектри, що й K і M зорі, однак у них є багато сильних смуг поглинання молекул вуглецю C₂ та ціану CN. Тому ці зорі отримали назву вуглецевих. Спектри зір класу S характеризуються наявністю смуг оксидів цирконію ZrO та рідких земель, головним чином, ітрію YO та лантану LaO. За іншими ознаками спектри цих зір подібні до спектрів зір класів K — M.

У ряді випадків застосовують спеціальні позначення особливостей спектра зорі. Так, літера e свідчить про наявність у спектрі яскравих (*емісійних*) ліній, k — пов'язаних із поглинанням світла зорі газом міжзоряного середовища, p — пекулярний (незвичайний) спектр, m — інтенсивні лінії металів, n — лінії розмиті і широкі, s — вузькі і різкі, v — мають змінну з часом інтенсивність. Спектри білих карли-

ків позначають літерою D з уточненням: DA — якщо у спектрі є лінії бальмерівської серії водню, а ліній гелію немає, DB — видно широкі лінії нейтрального гелію, DC — ліній бальмерівської серії не видно, DO — широкі лінії іонізованого гелію. Окремо виділяють спектри гарячих зір типу *Вольфа-Райє*: якщо в спектрі переважають лінії азоту, то його позначають WN, якщо лінії вуглецю, то — WC.

Як бачимо, спектральна послідовність є фактично температурною послідовністю: при переході від ранніх спектральних класів до пізніх температура зменшується. Читач, мабуть, звернув увагу на те, що температурні інтервали суміжних класів дещо перекриваються. Виявилось, що вигляд спектра зорі, крім температури, залежить ще від одного параметра — класу її світності.

Діаграма «спектральний клас — світність». До початку XX ст. було визначено відстані приблизно до 300 зір і тим самим обчислено їхні світності. Стало можливим проведення статистичного аналізу цих результатів, що й здійснили у 1905–1913 рр. Ейнар Герцшпрунг (Данія) і Генрі Рессел (США). Вони зіставили світності зір з їхніми спектральними класами на діаграмі, яку згодом названо *діаграмою Герцшпрунга-Рессела*. На цій діаграмі по осі абсцис відкладені спектральні класи зір (іноді ефективні температури або відповідні їм показники кольору $B - V$), по осі ординат — світності зір L або абсолютні зоряні величини M . Тому таку діаграму ще називають *діаграмою спектральний клас — світність*.

Якби між світностями зір та їхніми спектральними класами не було ніякої залежності, то зорі заповнювали б поле діаграми хаотично. Насправді ж вони утворюють на ній декілька угруповань — *послідовностей* (рис. 7.2).

Близько 90 % зір зосереджені уздовж вузької смуги, яка перетинає поле діаграми від лівого верхнього кута до правого нижнього. Ця смуга називається *Головною послідовністю* (ГП). На ній відмічено положення Сонця. Всі зорі, які мають температури і світності, що відповідають положенню на Головній послідовності, називаються *нормальними карликами* класу світності V (клас світності вказують римською цифрою після спектрального класу зорі).

Серед нормальних карликів є як дуже гарячі зорі (наприклад, спектрального класу O, B), так і досить холодні (класи K, M). Зорі Головної послідовності більш гарячі, ніж Сонце, мають радіуси, які перевищують радіус Сонця. Радіуси зір Головної послідовності, холодніших за Сонце, менші, ніж сонячний.

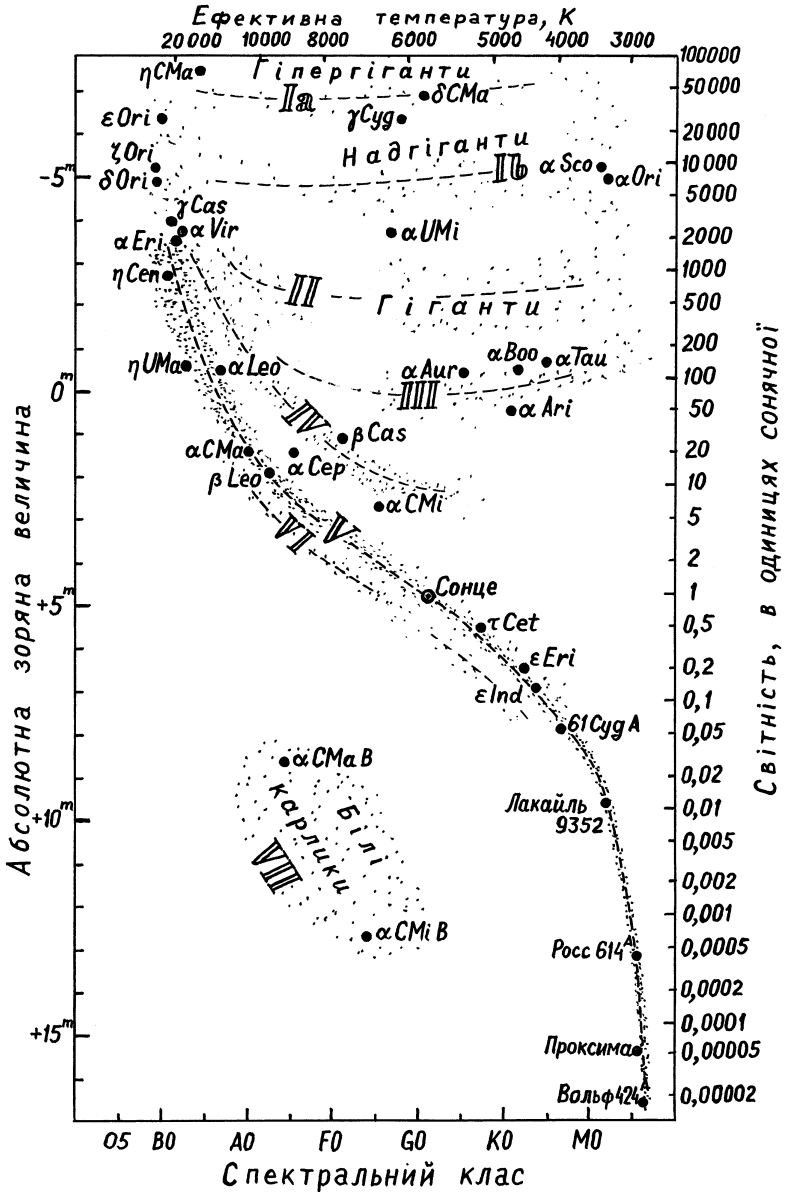


Рис. 7.2. Діаграма спектральний клас — світність

Вище Головної послідовності розташована *гілка гігантів* (клас світності III). Між нею та Головною послідовністю знаходяться *зорі-субгіанти* (клас світності IV). Дещо більшу, ніж у гігантів, світність мають *яскраві гіанти* (клас світності II). І, нарешті, зорі найбільшої світності — *надгіанти* розташовані у верхній частині діаграми. Надгіанти мають клас світності I. Менш яскраві з них позначаються Ib, більш яскраві — Ia, а надгіанти з найпотужнішим випромінюванням (*гіпергіанти*) — Ia-0.

Підрахунок показує, що у тій частині Галактики, де розташоване наше Сонце, на 1000 зір головної послідовності припадає один гігант, а на 1000 гігантів — один надгігант.

Дещо нижче Головної послідовності знаходиться послідовність *субкарликів* (клас світності VI). Лівий нижній кут діаграми займають зорі *білі карлики* (клас світності VII). Вони становлять близько 10 % зір, їхні світності й розміри в середньому у 100 разів менші, ніж Сонця. Слід зауважити, що більшість спостережуваних білих карликів мають температури поверхонь вищі за 9000 К, що обумовлює їхній білий колір (треба зазначити, що безпосередньо після утворення білий карлик є значно гарячішим).

Джерела енергії зір. Два джерела енергії підтримують світіння зір упродовж мільйонів і мільярдів років: їхнє гравітаційне стискування і реакції синтезу ядер важких хімічних елементів у їхніх надрах.

Відомо, що під час падіння, скажімо, шматка крейди з якоїсь висоти при самій долівці він матиме деяку кінетичну енергію, яка під час удару об долівку перетворюється на роботу (шматок крейди розбивається), а частина її затрачається на розігрівання уламків крейди. Подібне відбувається і в надрах зорі. Її загальне стискування можна уявити так: спочатку стиснулися її надра — ядро, а дещо пізніше на нього падають верхні шари. Обчислення свідчать: якщо газопилова хмара стиснулася до радіуса R , то при цьому виділиться енергія

$$\Omega = \frac{3 G M^2}{2 R},$$

де M — маса хмари; G — гравітаційна стала. Однак, якщо уявити, що Сонце висвічувало свою енергію у нинішньому «темпі» ($L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26}$ Вт), то цієї *потенціальної* енергії (а це $\Omega_{\odot} = 6 \cdot 10^{41}$ Дж) вистачило б усього на 23 млн років. Тому вважається, що стискання тільки розігріває речовину і утворює умови для «вмикання» основного джерела енергії.

Таким джерелом є *реакції термоядерного синтезу*. Спочатку з протонів (ядер атома водню) формуються при ($T \geq 10 \cdot 10^6$ К) ядра гелію за схемою $4^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He}$, потім при температурах понад $200 \cdot 10^6$ К утворюються ядра вуглецю ($3^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C}$), кисню ($^{12}\text{C} + ^4\text{H} \rightarrow ^{16}\text{O}$) і т. д. Оскільки маса нового ядра трохи менша від суми мас частинок, які беруть участь у реакції, на величину Δm (так званий *ефект упаковки*), то при утворенні кожного ядра виділяється енергія $\Delta E = \Delta m c^2$, де c — швидкість світла — формула Ейнштейна. Якби весь водень Сонця перетворювався на гелій, то воно висвічувало б енергію 100 млрд років. Однак вважають, що вигоряє лише 10 % — у найглибших надрах зорі, де температура достатньо висока.

Реакції термоядерного синтезу в зорях часто ототожнюють із вибухом термоядерної (водневої) бомби. Але у бомбі використовується не звичайний водень, а важкий (*дейтерій*, крім протона, в ядрі його є ще нейтрон), котрий незрівнянно швидше реагує. А в надрах таких зір, як Сонце, реакції дуже мляві. Це видно з того, що вони відбуваються у ядрі, маса якого у Сонця складає десь 0,4 загальної маси, тобто $0,4 \times 2 \cdot 10^{30} = 8 \cdot 10^{29}$ кг. А потужність Сонця — приблизно $4 \cdot 10^{26}$ Вт. Поділимо останнє число на перше і побачимо, що на 1 кілограм маси виробляється всього 0,0005 Вт! Це у тисячі разів менше, ніж у людському організмі (≈ 1 Вт/кг). Враховуючи, що густина в центрі Сонця ≈ 160 г/см³, легко підрахувати, що в одному літрі речовини сонячного ядра виробляється потужність, менша за 0,1 Вт. Якщо можна було б дістати звідти отой літр, ми, мабуть, і не відчули б, що там щось гріє! І тільки колосальні розміри ядра, де всі ці літри гріють один одного, зумовлюють накопичення енергії і величезну загальну потужність (світність) зорі.

Шляхи розвитку зір. За сучасними уявленнями зорі формуються зі згущень газопилових хмар. Таке згущення, *протозоря*, стискаючись за згадані вже близько 20 млн років, врешті-решт займає «своє» місце на Головній послідовності діаграми спектр—світність — тим вище, чим більша її маса. Фізично це означає, що температура в ядрі такого тіла досягла мільйонів кельвінів, і починаються реакції ядерного синтезу. На Головній послідовності перебувають ті зорі, у надрах яких вигоряє водень. Для Сонця це 10 млрд років. Масивні зорі на цій стадії «живуть» менше, маломасивні — довше. Завдяки великій тривалості цього етапу, на Головній послідовності так багато зір. І якщо маса зорі $M \leq 1,2 M_{\odot}$, то після виснаження запасів водню в ядрі (для Сонця — це через 5 млрд років) зоря на діаграмі спектр—світність зміщується

в зону червоних гігантів. І тоді дуже швидко (за 30000 років) її ядро стискується, радіус зменшується у 100 разів (виникає зоря *білий карлик*), а оболонка (масою $0,1 M_{\odot}$), розширюючись, стає за 20–30 тис. років так званою планетарною туманністю.

Зоря, маса якої $M > 1,2 M_{\odot}$, поступово спалюючи ядра щораз важчих хімічних елементів (аж до утворення ядер заліза) і при цьому зазнаючи стискування своїх надр і розігріву їх аж до мільярда кельвінів, може скинути частину своєї маси. Тоді відбувається *спалах наднової*, і якщо маса залишку не перевищує $3 M_{\odot}$, то, стиснувшись до розмірів 30 км, вона може відновити свою рівновагу як *нейтронна зоря*. Якщо ж скинути свій надлишок маси не зможе, то стискування продовжується, і на місці зорі виникає *чорна діра*. Це об'єкт, на умовній «поверхні» якого (так званій *сфері Шварцшильда*, радіус якої дорівнює *гравітаційному радіусу* $R_g = 2GM/c^2$, причому для Сонця $R_g = 3$ км) сила тяжіння така, що не відпускає нічого, навіть світло.

Нейтронні зорі виявлено у 1967 р. Це *пульсари* — джерела імпульсного радіовипромінювання. Перший пульсар, позначений CP 1919, є в сузір'ї Лисички (рис. 7.3). Імпульс радіовипромінювання триває 0,3 с і повторюється через кожні 1,3373 с. За сучасними уявленнями, це «замігнені» нейтронні зорі, які дуже швидко обертаються навколо своїх осей. Імпульс випромінювання реєструють у той момент, коли під час обертання магнітний полюс спрямований до спостерігача (рис. 7.4). Саме ж випромінювання виникає під час гальмування надшвидких (релятивістських) електронів у магнітному полі пульсара.

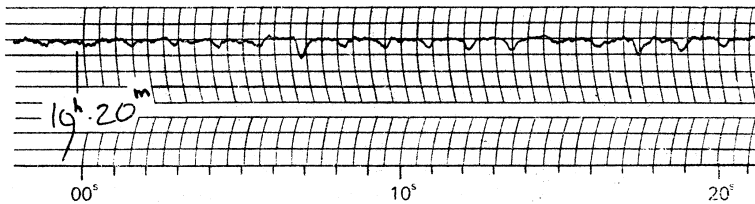


Рис. 7.3. Перший запис пульсара CP 1919 28 листопада 1967 року. Напря́м вниз на запису відповідає збільшенню інтенсивності

Спостереження за рухом зір в самому центрі нашої Галактики (таке стало, нарешті, можливим), за період з 1995 до 2008 року включно, виявили наявність невидимого тіла величезної маси (до 10 мільйонів сонячних), навкруг якого ці зорі обертаються. Можливо, це *надмасивна чорна діра* невідомого походження.

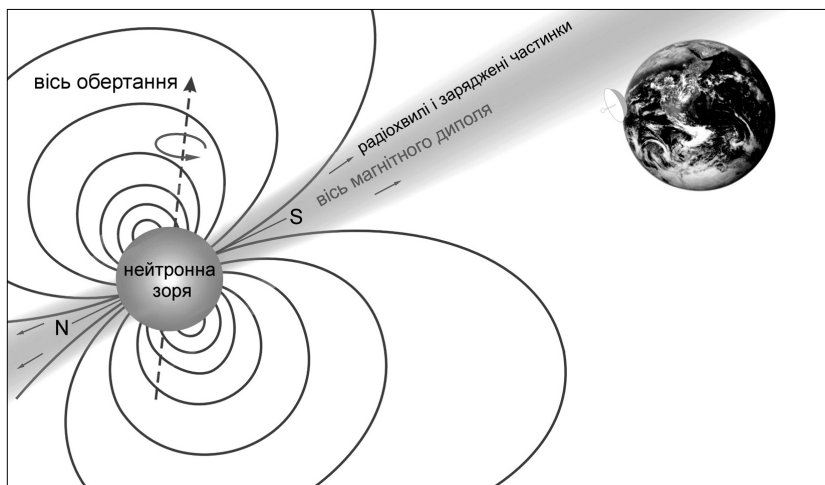


Рис. 7.4. Модель пульсара типу «маяка»

Власні рухи зір. Усі зорі, у тому числі й Сонце, рухаються навколо центра Галактики. Цей рух є спільним для великої кількості зір в околицях Сонячної системи. А ще кожна зоря серед них рухається відносно сусідів. Унаслідок цього в деяких близьких до нас зір можна зауважити зміщення на загальному тлі далеких зір. Кутове переміщення зорі на небесній сфері за один рік називають *власним рухом* зорі, вимірюють у кутових секундах та позначають літерою μ . Якщо детальні дослідження виявляють не прямолінійний, а хвилястий рух, то це дає змогу визначити наявність поблизу інших зір темних масивних супутників. Найбільше μ у зорі Барнарда, що є поблизу зорі β Змієноця: за 180 років вона зміщується на видимий діаметр Місяця. Дані про деякі зорі, про власні рухи зір наведено в табл. 4-В–8-В Додатка. У сучасних каталогах μ вказують у тисячних частках кутової секунди (mas).

7.2. ФІЗИЧНІ ЗМІННІ ЗОРІ

З початку XVII століття астрономи вивчають змінність блиску окремих зір. До кінця XVIII ст. таких зір було виявлено тільки 12. У XIX столітті завдяки зусиллям як астрономів-професіоналів, так і аматорів астрономії кількість відомих змінних зір зросла до 3000. Цьо-

му дуже сприяло впровадження фотографії в астрономію. На протязі ХХ століття до 1985 р. до «Загального каталогу змінних зір» («Общий каталог переменных звезд», ОКПЗ) увійшли 28450 зір, причому ще біля 17000 «кандидатів» чекали підтвердження. Після 1985 р. ОКПЗ поповнюється в електронному варіанті. На початку ХХІ століття загальна кількість змінних зір у ньому — приблизно 44 тисячі об'єктів.

Поняття змінної зорі зазнало за останні сто років переосмислення. Справа в тому, що, власне кажучи, незмінних зір немає. Сучасні фотометри здатні виявити зміни блиску на десятитисячні частки зоряної величини. Крім того, астрономія стала всехвильовою і, таким чином, така стабільна зоря як наше Сонце демонструє різноманітну змінність у рентгенівському та радіодіапазонах. Зараз вважають змінною зорю, котра на протязі її фотометричних спостережень хоч інколи показувала зміни блиску (помітні на відповідному рівні розвитку астрономічної техніки) в ультрафіолетовому, видимому та інфрачервоному діапазонах. Тому загальна кількість відомих зараз змінних зір значно перевищує вказані 44 тисячі.

Залежно від причини змін блиску є різні системи класифікації змінних зір. Традиційно, передусім, розрізняють фізичні і оптичні змінні. У перших блиск змінюється внаслідок тих чи інших фізичних процесів у самій зорі, тоді як другі являють собою або подвійні системи, компоненти яких періодично затемнюють один одного, або поодинокі зорі несферичної форми, чи то вкриті темними плямами. Обертання таких зір, при неможливості безпосередніх спостережень деталей та форми фотосфери, призводить до змін загального блиску об'єкта. Але в багатьох випадках компоненти подвійної системи не тільки механічно обертаються навколо спільного центра мас, а й обмінюються речовиною, що спричиняє масштабні фізичні зміни у самих зорях. Тому й досі немає досконалої класифікації змінних зір.

Ми будемо називати фізичними змінними як поодинокі змінні зорі, так і системи зір, в яких спостерігається обмін речовиною, вибухи та інші процеси. Такі фізичні змінні поділяються на *еруптивні* (демонструють обмін речовиною, вибухи, витікання потужних газових потоків та ін.) і *пульсуючі*.

Еруптивні зорі дуже різноманітні. Серед них є гарячі зорі-надгіганти, в десятки і сотні тисяч разів яскравіші від Сонця (тип S Золотої Риби), є дуже молоді зорі, тільки-но утворені з газопилових хмар (тип Т Тельця), є численні слабкі червоні зорі, які демонструють швидкі спалахи (тип UV Кита), є тісні подвійні системи з обміном ре-

човини (*катаклізмичні* зорі, до них, серед інших, належать і *нові* зорі, що збільшують свій блиск у тисячі й десятки тисяч разів).

Якщо виходити із загальної кількості 44 тисяч, змінні зорі розподілені між різними типами так:

Пульсуючих зір відомо близько 22000. Серед них виділяють (у дужках наведено приблизну кількість відомих зір цього типу):

ліриди, або змінні зорі типу RR Ліри (7000). Це зорі-гіганти спектральних класів А–F, їхні періоди пульсації P є в межах 70 хв. — 1,2 доби, амплітуди зміни блиску $0,5-2^m$;

цефеїди (950), періоди 1–70 діб, амплітуди $0,1-2,0^m$, спектральний клас F–G (рис. 7.5), у свою чергу їх поділяють на класичні цефеїди (тип δ Цефея) та віргініди (тип W Діви);

тауриди, зорі типу RV Тельця (133), змінні надгіганти спектральних класів G–M. Період пульсації цих зір 30–150 діб, амплітуди зміни блиску звичайно менші від 3^m ;

довгоперіодичні змінні типу Міри Кита (7500), зорі-гіганти спектральних класів M, C і S, періоди 80–1000 діб, амплітуди понад $2,5^m$;

напівправильні змінні (6000), зорі-гіганти і надгіганти пізніх спектральних класів, у яких зміни блиску з амплітудою менше 2^m відбуваються з періодами 30–1000 діб;

неправильні змінні (3500), гіганти і надгіганти пізніх спектральних класів без ознак періодичності у змінах блиску.

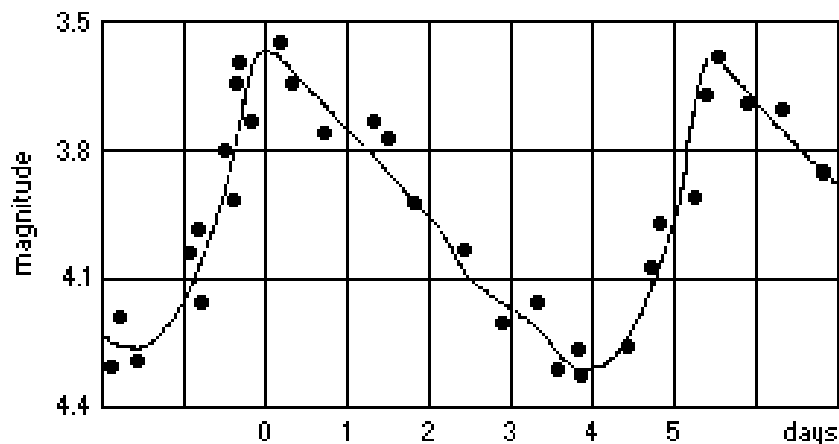


Рис. 7.5. Крива блиску пульсуючої змінної зорі δ Цефея, що є прототипом великої групи змінних зір — цефеїд

На початку ХХ ст. *Генріетта Лівінг* (Гарвардська обсерваторія, США) звернула увагу на те, що середня світність цефеїди (між максимумом і мінімумом) тим більша, чим довший період змін блиску. Цю залежність «період — світність» уточнювали упродовж ХХ ст. Зараз вже досить надійно можна пов'язати період цефеїди із її середньою світністю в одиницях сонячної (або з її середньою абсолютною зоряною величиною). Тепер, якщо в далекій зоряній системі виявлено цефеїду (за формою кривої блиску та іншими показниками), за її періодом можна визначити світність i , порівнюючи її з видимою зоряною величиною, обчислити відстань до цієї зоряної системи. Результат буде більш надійним, коли цефеїд у цій системі не одна, а деяка кількість. Завдяки великій світності (в тисячі і десятки тисяч більшої за світність Сонця) ці зорі можна спостерігати на величезних відстанях. Саме цефеїди відіграли вирішальну роль у визначенні масштабів Всесвіту, тому їх давно вже звать «маяками Всесвіту».

Окрему групу становлять *затемнювано-змінні*, в яких зміни блиску зумовлені періодичним затемнюванням однієї зорі іншою під час їхнього обертання навколо спільного центра мас. Про них йдеться нижче.

Деякі відомості про 40 найяскравіших змінних зір наведено в табл. 8-В Додатка.

Перш ніж розпочинати спостереження, треба оволодіти методикою. Потім потрібно обрати зорю для дослідження, зважаючи на можливості свого інструмента, його проникну здатність. Спочатку це повинні бути яскраві зорі з великими амплітудами зміни блиску, з його правильними коливаннями. Дуже корисним при цьому буде «Астрономічний календар», що видається у Києві. Там у розділі «Зорі» є таблиці, де подано вже розраховані на поточний рік моменти максимумів (або мінімумів) багатьох періодичних змінних зір. Добрим об'єктом для тренувань є зоря δ Цефея.

Наступний крок — ототожнення вибраної зорі на карті зоряного неба (в атласі Михайлова відмічено змінні зорі до $8,2^m$ у максимумі блиску). Блиск змінної зорі слід із чимсь порівнювати. Отже, потрібно поблизу змінної зорі вибрати декілька зір порівняння, причому бажано, щоб їх було видно у телескоп разом із зорею, яку досліджують. Звісно, що їхні видимі зоряні величини повинні бути відомі з «Астрономічного календаря» або з Атласу. Бажано також, щоб за кольором зорі порівняння були близькими до змінної, а інтервал блиску під час переходу від одної зорі порівняння до іншої не перевищував $0,4-0,5^m$.

Наприклад, вивчаючи зорю δ Цефея, за зорі порівняння використовують (вказуємо їхні видимі зоряні величини): γ Цефея ($3,22^m$), η Цефея ($3,41^m$), ε Дракона ($3,83^m$), ε Цефея ($4,19^m$) і π Цефея ($4,41^m$).

Оцінюючи блиск зорі η Орла, використовуємо υ Орла ($3,37^m$), δ Орла ($3,40^m$), ν Змієноця ($3,31^m$), β Дельфіна ($3,63^m$), β Орла ($3,71^m$), α Стріли ($4,39^m$) або β Стріли ($4,39^m$).

Той, хто обере для досліджень затемнювано-змінну Алголь (β Персея), може скористатися такими зорями: α Персея ($1,82^m$), α Андромеди ($2,06^m$), δ Кассіопеї ($2,68^m$), ε Персея ($2,90^m$), ε Кассіопеї ($3,34^m$) та α Трикутника ($3,41^m$).

Для деяких змінних зір складено карти околиць (рис. 7.6), які детальніше описано в окремих виданнях «Астрономічного календаря».

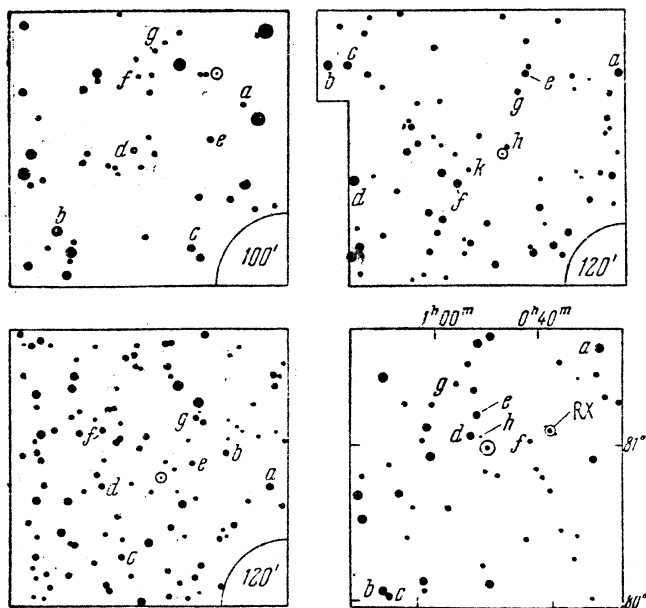


Рис. 7.6. Карти околиць змінних зір: вверху — лірид XZ Лебеда і RR Ліри, внизу — затемнювано-змінних U Стріли та U Цефея

Блиск змінних зір оцінюють за допомогою чотирьох методів. Перший — це *метод Аргеландера*. Тут спостерігач порівнює блиск змінної зорі v і зорі порівняння a , по черзі вдивляючись у них. Довго вдивлятися не треба, щоб не втомитися. Якщо вони однакові за блиском, чи

то одна, то друга здаються яскравіше, записуємо va або $v = a$. Якщо ж складається враження, нібито блиск зорі a ледь-ледь більший, ніж v , принаймні, частіше здається, що a яскравіша за v , ніж навпаки, тоді блиск a на один ступінь більший (світліший) від v і записуємо $a1v$. Якщо ж блиск зорі a помітно більший, ніж v , тоді блиск a на два ступені більший, ніж v , і записуємо $a2v$. Зразу ж такі помітна різниця у блиску дає три ступені: $a3v$. Добре натренований спостерігач уловлює різницю і у 4 ступені. Якщо різниця ступенів більша від 4, то обирають іншу зорю порівняння. З часом значення ступеня само собою встановлюється близьким до $0,1^m$.

За *методом Пікерінга* на кожному етапі роботи обирають дві зорі порівняння, з яких одна (a) має більший, інша (b) — менший блиск, ніж змінна. Інтервал блисків $[a, b]$ ділять на десять частин і оцінюють різниці блисків a і v у частках інтервалу $[a, b]$. Записуючи оцінки, блиск яскравішої зорі завжди ставлять першим: $a1v9b, a3v7b$ і т. д.

У *методі Нейланда—Блажко* на кожному етапі використовують дві зорі порівняння, однак інтервал їхніх блисків ділять не на 10 частин, а на кількість, яку оцінює спостерігач у ступенях. Кожне спостереження полягає в тому, що спочатку визначають, між якою парою зір порівняння «розташована» за блиском змінна зоря, а потім оцінюють кількість ступенів за Аргеландером між більш яскравою зорею порівняння і змінною та між змінною і слабшою зорею порівняння. Якщо амплітуда зміни блиску зорі v досить велика, то беруть декілька зір порівняння. Приміром, ми визначили, що наша змінна зоря v слабша за зорю порівняння c , але яскравіша, ніж d . Уважно вдивляємось у c і v . Нехай c на 2 ступені яскравіша за v . Потім вдивляємось у v і d . Нехай v значно яскравіша, ніж d , на 3 ступені. Оцінку записуємо так: $c2v3d$. Якщо зоряні величини зір порівняння відомі, приміром $m_c = 6,3^m, m_d = 6,8^m$, тоді зоряну величину v знаходимо простою інтерполяцією — між c і d наших ступенів $2+3=5$, що відповідає різниці зоряних величин $6,8^m - 6,3^m = 0,5^m$. Отже, наша змінна зоря v на $0,2^m$ слабша за c і на $0,3^m$ яскравіша за d , тобто $m_v = 6,5^m$. Якщо ж зоряні величини зір порівняння невідомі, можна обмежитися шкалою ступенів замість шкали зоряних величин. З усіх оцінок нашої змінної, що потрапляють в інтервал між a і b , обчислюємо середню різницю між a і b у ступенях. Наприклад, з оцінок $a1v2b, a2v2b, a1v3b, a3v2b$ маємо між a і b $(3+4+4+5)/4 = 16/4 = 4$ ступені. Вважаємо, що в a нульовий ступінь, тоді блиск зорі b буде 4 ступені. Так само отримуємо із інших інтервалів (b і c, c і d і т. д.) блиск усіх зір порівняння у ступенях.

Четвертий спосіб рекомендуємо для спостерігачів, що вже мають деякий досвід, і при цьому зоряні величини зір порівняння відомі, а спостерігач знає їх напам'ять. Тоді він, подумки зробивши інтерполяцію «на небі», зразу ж визначить зоряну величину досліджуваної зорі.

Точність візуальних спостережень залежить від досвіду спостерігача. Похибка у початківця може сягати $\pm 0,3^m$, тоді як у досвідчених спостерігачів межею точності окомірних відносних оцінок вважають $\pm 0,05^m$.

Крива блиску. Після закінчення спостережень кожен оцінку блиску змінної зорі, здійсненої в деякий момент часу t з точністю до хвилин, переводять у систему всесвітнього часу, потім — у дробові частини доби і, нарешті, в юліанський момент. За цими даними можна будувати *криву зміни блиску* змінної зорі: по горизонтальній осі відкладають час t , по вертикальній — зоряні величини m , або ступені. Таким чином нанесені на графік спостереження дають у сукупності картину зміни блиску зорі. Добрим прикладом знову ж таки є зоря δ Цефея (див. рис. 7.5).

Дуже часто виникає проблема визначення моменту максимуму (чи мінімуму) блиску вивченої зорі, оскільки близько до цього моменту блиск зорі може змінюватися дуже мало. У цьому випадку користуються способом *Погсона*: поблизу екстремуму у випуклій частині кривої блиску *проводять* декілька хорд паралельно до осі часу (рис. 7.7). Хорди ділять навпіл і через точки поділу проводять плавну криву до перетину з кривою блиску. Проектуючи цю точку на вісь часу, отримують момент екстремуму.

Спостереження зір із періодом менше двох діб потребують як більш точної фіксації часу, до 0,1 хвилини, так і введення поправки на центр Сонця. Справа в тому, що під час орбітального руху Землі ми періодично то віддаляємося від конкретної зорі, то наближуємось до неї. В результаті світло від зорі надходить до спостерігача то із запізненням, то із випередженням порівняно до того, як воно надходить до Сонця. Ця *геліоцентрична поправка*, або *світлове рівняння* не перевищує $\pm 8,3$ хвилини.

Для короткоперіодичних зір будують ще *середні криві блиску*.

Про обчислення геліоцентричної поправки та про середні криві докладно говориться у зазначених у нашому списку літератури книгах В. П. Цесевича, «Справочнике любителя астрономии» П. Г. Куликовського та інших виданнях. Ми тут розраховуємо на початківця, якому краще спостерігати зорі з не дуже швидкими коливаннями блиску.

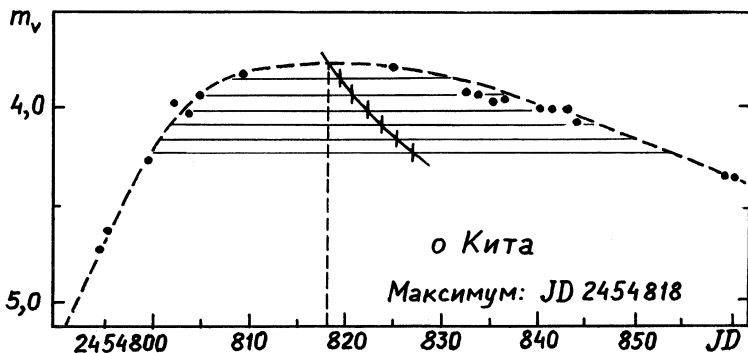


Рис. 7.7. Визначення моменту максимуму блиску змінної зорі способом Погсона

Слід зазначити, що окомірні оцінювання блиску, як будь-які фізичні виміри, стикаються із різноманітними випадковими та систематичними похибками. Так, під час візуальних спостережень зорі, котра, скажімо, підвищує блиск, спостерігач відмічатиме зростання блиску ще деякий час після того, як це зростання припинилося. Це — так звана *похибка ведення*. Тому краще починати із зір, оцінки блиску котрих робимо зрідка, з тим, щоб «забути» їх, як тільки ми їх записали.

Цікава справа — вивчення стабільності періоду зміни блиску зорі. Щоб з'ясувати це, досить дослідити блиск зорі поблизу максимуму, момент якого обчислюють наперед за формулою

$$M_i = M_0 + PE,$$

де M_0 — момент початкового максимуму (або мінімуму — для затемнених зір); P — період; E — деяке ціле число, яке добирають так, щоб отримати момент, коли зорю можемо спостерігати над горизонтом. M_0 та P даються в останніх двох стовбцях таблиць змінних зір в «Астрономічному календарі». Очевидно, якщо період зміни блиску зорі сам змінюється з часом, то спостережуваний максимум M_C не збіжиться з обчисленим M_i . Це можна зобразити на графіку відхилень спостережуваних моментів M_C (або O від англ. *observation*) від наперед обчислених M_i (або C від англ. *calculation*). Такі відхилення записують у вигляді $O-C$. Нагадаємо, по-перше, що всі моменти беремо в юліанських датах, а, по-друге, для короткоперіодичних зір вводимо геліоцентричну поправку.

Причину розбіжностей при цьому визначають досить легко. Виявляється: якщо розбіжність зумовлена неточністю прийнятого значення періоду, то графік $O-C$ має вигляд нахиленої прямої. При цьому якщо $O-C$ зростає з часом, то період просто слід збільшити на $(O-C)/E$, і навпаки. Якщо ж період змінюється, то графік $O-C$ не буде прямолінійним. Наприклад, якщо період прогресивно зростає, то графік $O-C$ є параболою (рис. 7.8).

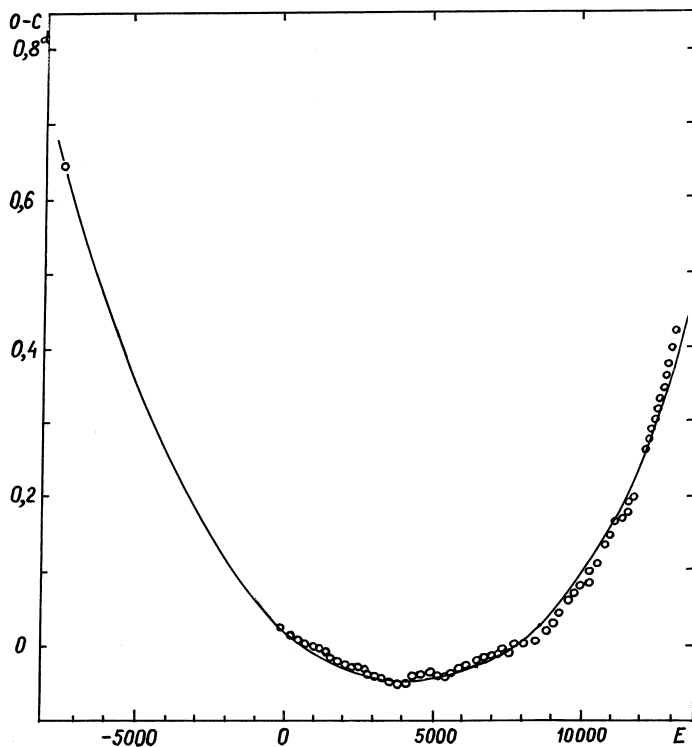


Рис. 7.8. Графік $(O-C, E)$ зміни періоду затемнювано-змінної зорі U Цефея. Зміни $O-C$ показані параболою, що свідчить про прогресивне зростання періоду, а також про можливі невеликі стрибки й коливання його величини на тлі загального збільшення

Ще раз нагадаємо: і сьогодні аматорські (гурткові, індивідуальні) спостереження змінних зір можуть бути корисними для науки. Передовсім це стосується саме уточнення періодів зміни блиску довго-

періодичних та напівправильних змінних. Їхній період може збільшуватися або зменшуватися на 10 % і більше. Якщо ж говорити про триваліші проміжки часу, то ці зміни є разючими. Наприклад, типовим представником групи довгоперіодичних змінних зір є зоря *R* Гідри. Сьогодні свій блиск від 3^м до 11^м вона змінює за 386 діб. А двісті років тому цей період досягав 500 діб!

Розташування різних груп змінних зір на діаграмі спектр–світність показано на рис. 7.9.

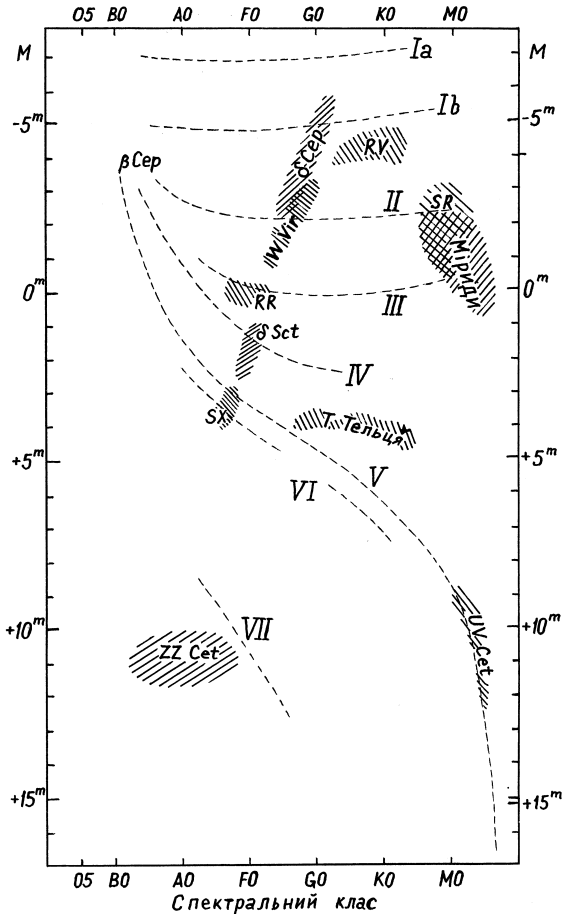


Рис. 7.9. Положення різних груп змінних зір на діаграмі спектр–світність

Можливо, хтось під час навчальних спостережень виявить зорю, якої у цій ділянці неба раніше не було. Оцінивши її координати й видиму зоряну величину і вказавши час спостережень, усі ці дані слід переслати в Головну Астрономічну обсерваторію НАН України, не припиняючи подальших спостережень за об'єктом. Такі спалахи яскравих нових зір — рідкісне явище. Їх дослідження мають велике значення для астрофізики. До речі, першу нову у ХХ столітті відкрив аматор астрономії, наш співвітчизник, київський гімназист Андрій Борисяк. Це сталося ввечері 21 лютого (за новим стилем) 1901 року. Він на кілька годин випередив відомого шотландського астронома-аматора, дослідника Нових зір, священника Томаса Андерсона з Единбургу.

7.3. КРАТНІ Й ЗАТЕМНЮВАНО-ПОДВІЙНІ ЗОРІ

Цікавими об'єктами для спостережень є подвійні або кратні зоряні системи. Це системи з двох і більше зір, що об'єднані силами тяжіння й обертаються навколо спільного центра по еліптичних орбітах. У нашій зоряній системі — Галактиці, як уважають, значна більшість зір є кратними системами. Крім того, якщо «в єдине ціле» об'єдналися понад 10 зір, то говоримо вже про *зоряне скупчення*. Якщо компоненти кратної зорі видно в телескоп, то її називають *візуальною кратною системою*. Слід пам'ятати, що є випадки зір оптично подвійних, коли зорі насправді дуже далекі одна від одної, але проєктуються на небесну сферу майже в одному напрямі (як ось α Терезів, α Козорога).

У деяких випадках кутові відстані між компонентами подвійної системи настільки малі, що навіть у потужні телескопи система виглядає одинарною зорею. Про її подвійність свідчить, однак, періодичне розщеплення (відповідно до ефекту Доплера) лінії у спектрі, зумовлене рухом одного компонента до спостерігача, іншого — від нього. Це так звані *спектрально-подвійні зорі* (рис. 7.10).

У кратних системах зорю, яка має найяскравіший блиск, називають *головним компонентом* і позначають літерою А, менш яскраву — літерою В і т. д. Зазначимо: якщо кратна система складається з трьох зір, то просторова відстань компонента С звичайно істотно перевищує відстань компонента В від А, бо лише в цьому випадку система є стійкою. Відповідно один або навіть усі компоненти можуть бути спектрально-подвійними (саме такою системою з шести зір є Кастор — α Близнят).

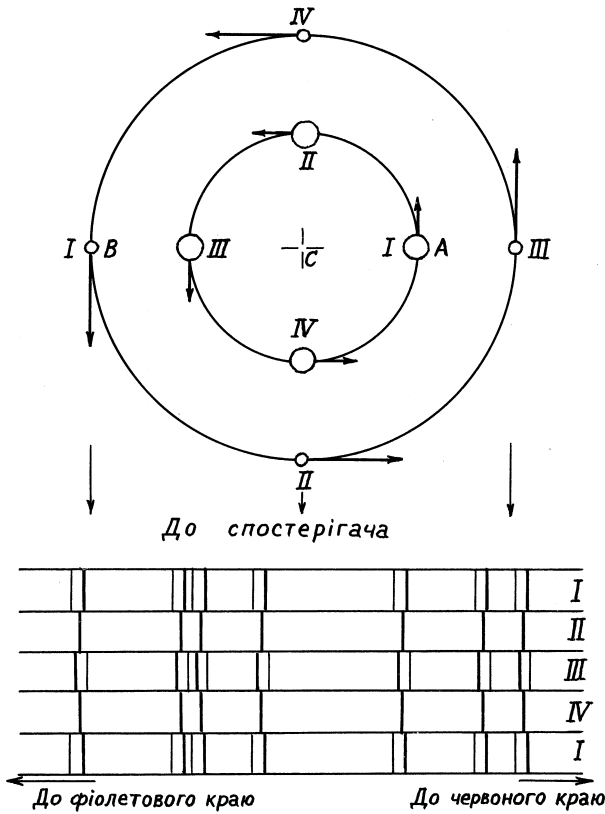


Рис. 7.10. Схема зміни променевих швидкостей у системі спектрально-подвійної зорі й періодичного зміщення спектральних ліній (унизу). У головної, масивнішої та яскравішої зорі А лінії в спектрі сильніші, а амплітуди коливань менші. Римські числа вказують відповідність спектрів положенням зір на орбітах

Деяку інформацію про 25 найяскравіших подвійних зір наведено в табл. 6-В Додатка, а кілька зоряних пар, доступних скромним інструментам, зображені на рис. 7.11. Уже зареєстровано понад 60 000 візуально-подвійних систем, подвійність яких виявляють під час безпосередніх спостережень у телескоп. Найменший період обертання (2,62 року) у зорі ϵ Кита. Лише для 500 подвійних точно обчислено орбіти. Найближча до нас зоря α Кентавра (її ще зовуть Толіман, або Рігель Кентаурус) є системою з трьох компонентів.

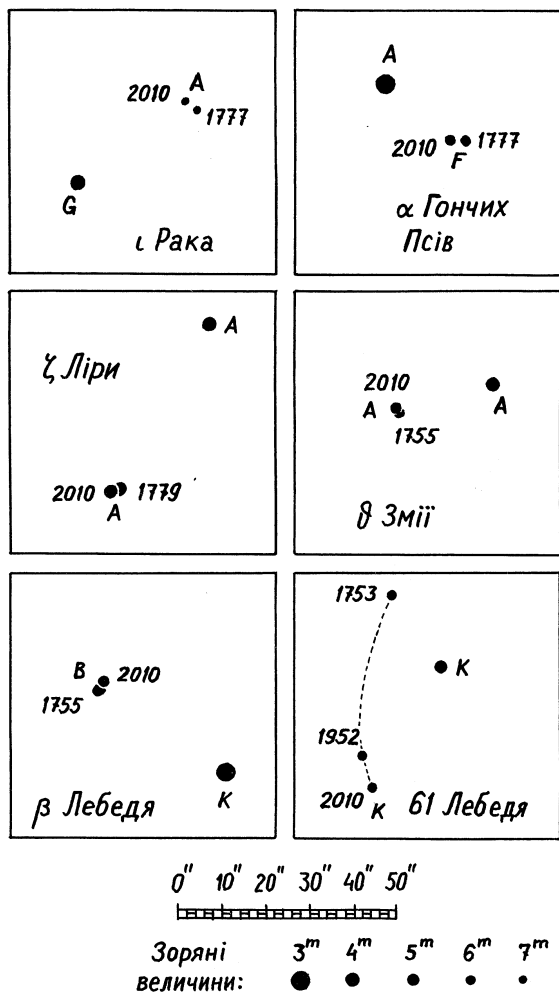


Рис. 7.11. Розташування компонентів шести подвійних зір в одному масштабі. Вказано спектральні класи компонентів і місце супутника в різні роки. Північ вгорі, схід ліворуч

Звичайно під час наукових досліджень подвійних зір, складання їхніх каталогів визначають *позиційний кут* θ — кут між напрямом на Північний полюс світу і лінією, що з'єднує компоненти. Тут, однак, мусимо згадати про роздільну здатність ока і телескопа. Як вже згаду-

валося у розділі 1, якщо кутова відстань між двома зорями менша від деякого кута α , то зображення зливаються в одне. Для ока $\alpha \approx 1'$, для ідеального телескопа з діаметром об'єктива $D = 10$ см, $\alpha \approx 1,2''$, при $D = 1$ м, $\alpha \approx 0,12''$, якщо $D = 5$ м, то $\alpha \approx 0,03''$.

У каталогах подвійних зір є такі системи, в яких період обертання компонентів навколо спільного центра мас становить лише декілька років (наприклад, для ϵ Кита це 2,62 року, для δ Малего Коня 5,7 року). У цьому випадку зміна позиційного кута від спостереження до спостереження була б чітко помітною. Однак у таких зір кутові відстані між компонентами є дуже малі (для згаданих зір відповідно $0,11''$ і $0,26''$), тому для невеликих телескопів ці зорі недоступні. Якщо ж для зорі 70 Змієносця (4^m) відстань між компонентами вже досягає $4,55''$, то й період обертання системи тут майже 88 років. У зоряних пар з великими відстанями між компонентами орбітальний рух помітний тільки у близьких систем, як, наприклад, у 61 Лебедя (рис. 7.11).

Розглянемо задачу: «видима величина головного компонента m_A , його супутника m_B ; обчислити сумарну зоряну величину системи m ». Зокрема, зоряні величини компонентів зорі Кастор (α Близнят): $m_A = 2,0^m$ і $m_B = 2,9^m$, а видима зоряна величина системи $m = 1,58^m$. Як це визначено?

Очевидно, що за наявності двох (і більше) джерел світла складаються потоки енергії, конкретно тут — освітленості E : E повне є сумою E_A і E_B . Повна ж освітленість E відповідає сумарній зоряній величині m . З формули Погсона

$$m = m_1 - 2,5 \lg \frac{E}{E_1} = m_1 - 2,5 \lg \frac{E_1 + E_2}{E_1} = m_1 - 2,5 \lg \left(1 + \frac{E_2}{E_1} \right).$$

Співвідношення ж $\frac{E_2}{E_1} = 10^{-0,4(m_2 - m_1)}$. Конкретно, для зорі Кастор $\frac{E_2}{E_1} = 10^{-0,4(2,9 - 2,0)} = \frac{E_2}{E_1} = 10^{-0,36} = 0,48$ (третім компонентом, для якого $\frac{E_3}{E_1} \approx 0,001$, тут нехтуємо). Тому й $m = 2,0^m - 2,5 \lg 1,48 \approx 1,6^m$.

При деякій орієнтації площини, в якій зорі обертаються навколо спільного центра мас, сумарний блиск системи змінюється, оскільки відбувається повне або часткове покриття одного компонента іншим. Типовим прикладом таких *затемнювано-подвійних зір* є зоря β Персея — Алголь (рис. 7.12). За 3,9 доби її блиск змінюється від $2,2^m$ до $3,5^m$.

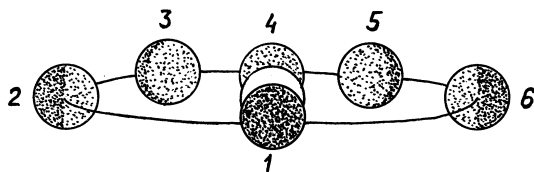
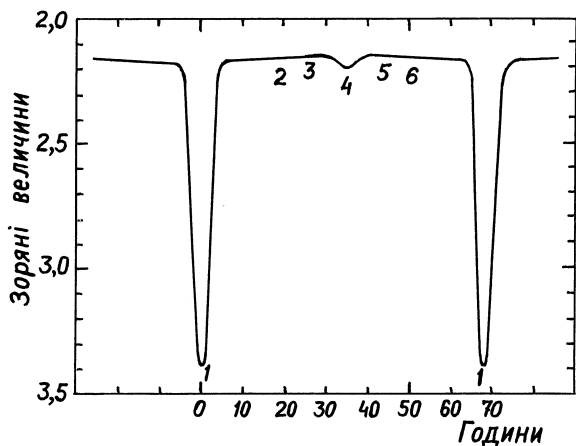


Рис. 7.12. Крива блиску затемнено-подвійної зорі Алголь та схема руху його супутника

Якщо подвійна система демонструє орбітальний рух компонентів навколо спільного центра мас, а відстань до цієї системи визначена за її річним паралаксом, то ми маємо унікальну нагоду обчислити *маси* компонентів за допомогою третього закону Кеплера у формі, уточненій Ньютоном. Наведемо без виводу формулу для суми мас компонентів:

$$m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2}.$$

Тут a — велика піввісь відносної орбіти другої зорі навколо першої в астрономічних одиницях, P — період в роках. Докладні дослідження дозволяють визначити окремо півосі орбіт компонентів відносно центра мас, і тоді можна окремо визначити m_A і m_B . А якщо є точні виміри променевих швидкостей компонентів протягом періоду обертання, можна ще проконтролювати паралакс. Це дуже важка праця. До нашого часу надійно визначені маси компонентів менш ніж 100

зоряних пар, хоча подвійних зір зараз відомо сотні тисяч. Тим більшу цінність мають отримані результати. Врешті-решт, всі знання астрономів про маси зір (а звідси — і про маси зоряних систем) ґрунтуються на таких дослідженнях зоряних пар. І якщо цефеїди — маяки Всесвіту, то подвійні зорі — *терези Всесвіту*.

7.4. НАША ГАЛАКТИКА, ЗОРЯНІ СКУПЧЕННЯ І ТУМАННОСТІ

Тисячі яскравих і ледь помітних зір, що їх бачимо на небі неозброєним оком, мільйони і мільярди слабкіших, доступних для спостережень лише в потужні телескопи, безліч планет і малих тіл, які обертаються навколо зір, міжзоряний газ та пилові хмари — все це об'єднується в єдину велетенську систему — нашу *Галактику*. Більшість яскравих зір Галактики зібрані у дископодібне утворення величезних розмірів, котре ми бачимо зсередини у вигляді розмитої світлої смуги — Молочного Шляху.

Сонячна система розташована ближче до краю цього диска, і тому Молочний Шлях виглядає неоднаково в різних напрямках. Найяскравіші його частини видно у нас влітку, в напрямку сузір'я Стрільця. Звідси на північ Молочний Шлях йде через сузір'я Щита, Орла, Стріли, Лисички, Лебеда. Тут до основної смуги приєднується паралельна смуга, котра йде від Змієносця та Змії. З Лебеда Молочний Шлях йде через сузір'я Ящірки, Цефея, Кассіопеї, Персея. «Зимова» частина Молочного Шляху виглядає не так яскраво: тут ми бачимо «менш населену» периферію Молочного Шляху — у сузір'ях Візничого, Близнят, Оріона, Однорога, Великого Пса, Корми. Невидима в наших широтах частина Молочного Шляху йде далі через сузір'я Парусів, Кіля, Мухи, Південного Хреста, Кентавра, Циркуля, Південного Трикутника, Косинця, Жертовника і, нарешті, через «хвіст» Скорпіона та Південну Корону потрапляє до Стрільця.

Чотири століття тому Галілео Галілей вперше побачив Молочний Шлях у телескоп. Він писав: «В яку б його ділянку не спрямувати трубу, зразу ж зору трапляється незліченна множина зір». Всі зорі Молочного Шляху перелічити неможливо, хоча сучасні інструменти здатні виявити зорі, в мільярди разів слабші за ті, що міг бачити Галілей у свої телескопи. Слабких зір набагато більше, ніж яскравих, хоча останні видно з величезних відстаней. Порівняємо таблиці 4-В і 5-В Додатку. Всі сто найяскравіших зір за світністю перевищують Сон-

це, при цьому тільки шість розташовані порівняно близько, до 10 пк. А серед 40 найближчих зір тільки три (Сіріус, Прокіон та Толіман) перевищують Сонце за світністю. Переважна ж більшість — слабкі червоні карлики, невидимі неозброєним оком.

Ще наприкінці XVIII століття Вільям Гершель здогадався, що Молочний Шлях — це гігантська плоска зоряна система, котру ми спостерігаємо зсередини. На початку XX століття астрономи дійшли висновку, що крім Молочного Шляху у Всесвіті є безліч подібних зоряних систем — галактик (з малої літери). Нашу зоряну систему — Молочний Шлях — звать Галактикою (з великої літери). З одного боку, Галактику ми знаємо краще, ніж інші галактики, оскільки маємо можливість вивчати об'єкти, що входять до її складу, з менших відстаней, а з іншого боку — ми її знаємо гірше, бо не можемо побачити її ззовні, як бачимо інші галактики. Тому і досі виявляються нові суттєві риси її будови. Так, ще кілька десятиліть тому астрономи були певні, що головне «тіло» Галактики має форму диска, потовщеного в центрі, від якого відходять кілька спіральних рукавів. В диску і рукавах зосереджена більшість яскравих зір, хмари міжзоряного пилу та газу. Тепер виявляється, що ця найбільш помітна плоска складова занурена у велетенське гало, що складається із безлічі слабких зір. Крім того, схоже на те, що центральна частина — *ядро Галактики* — видовжена, а не куляста, як вважалося донедавна. Загалом Галактика має таку будову (рис. 7.13). Центральне згущення зір — *балдж* — має форму еліпсоїда довжиною 4 кпк, шириною 2,5 кпк і товщиною 1,5 кпк. Густина зоряного населення збільшується до центральної частини балджа — ядра. У самому центрі, як ми бачили, можливо, є чорна діра. Від балджа виходять *спіральні рукави*. Вони лежать в площині диска. *Диск* — найбільш яскрава частина Галактики. Сонячна система розташована майже в площині симетрії диска на відстані 8 кпк від центра. В диску розрізняють *тонкий диск* (товщина на відстані Сонця — 200–300 пк) і *товстий диск* (на відстані Сонця товщина 1 кпк, максимальна — в центрі — 3 кпк). Радіус диска приблизно 12 кпк. Спіральні рукави — це області зореутворення. Там багато яскравих зір і туманностей. Ще кілька десятиліть тому вважалося, що ми знаємо майже всіх своїх сусідів, більшість з яких є червоними карликами. Тепер виявляються ще слабкіші тіла, вже згадувані коричневі карлики.

Із чого ж побудована Галактика? Перш за все, із зір. Зорі, як ми бачили, дуже різноманітні. До того ж, вони об'єднуються в системи, теж різноманітні. Крім подвійних і кратних систем, існують зібрання

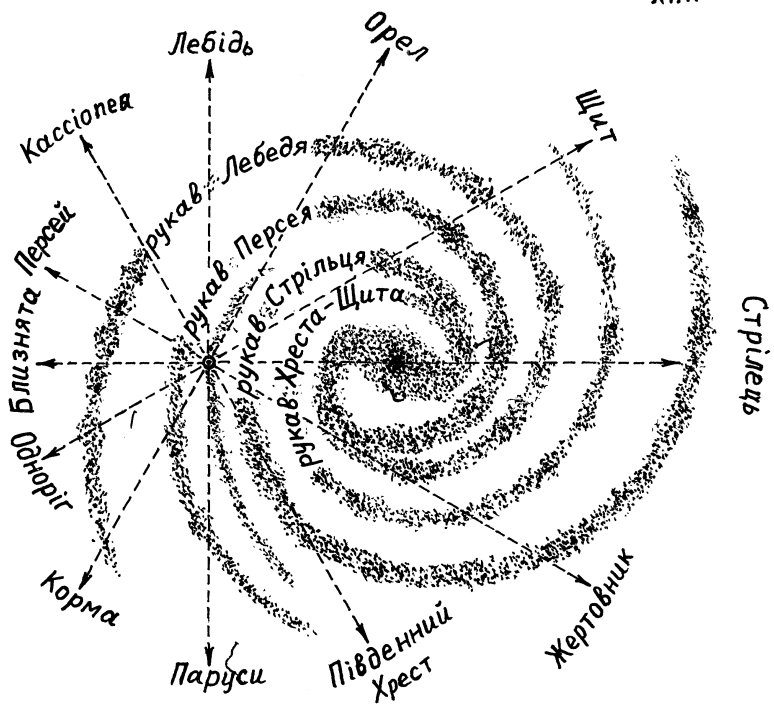
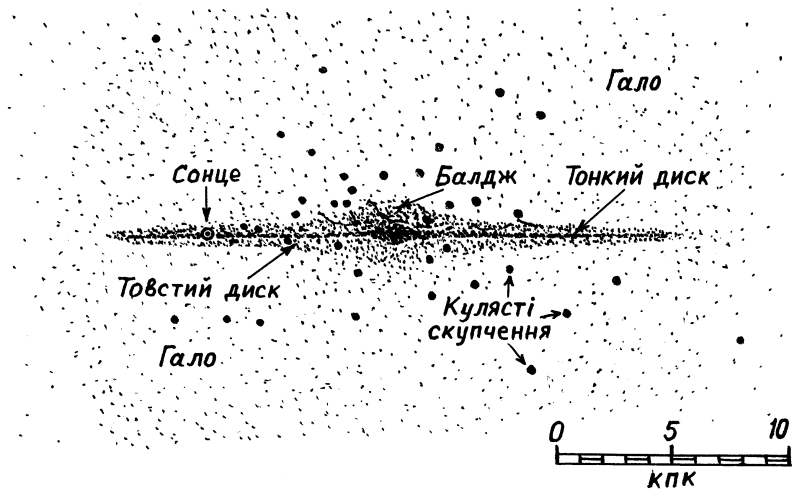


Рис. 7.13. Схема будови нашої Галактики

великої кількості зір в обмеженому об'ємі — *зоряні скупчення*. Неозброєним оком можна побачити кілька *розсіяних скупчень*. Поруч α Тельця — Альдебарана — розташовані Гіади — найближче до нас розсіяне скупчення. Відстань до нього 41 пк, розмір біля 4 пк. До нього належать приблизно 150 зір (Альдебаран не є членом Гіад, він вдвічі ближче до нас). Українська назва Гіад — Чепіги. У тому ж сузір'ї Тельця привертає увагу компактна група зір — розсіяне скупчення Плеяди (в українців — Волосожар, рис. 7.14). До нього належать біля 500 зір, розміри — приблизно 10 пк, а відстань 130 пк.



Рис. 7.14. Розсіяне скупчення Плеяди

На відміну від Плеяд і Гіад, скупчення Ясла в сузір'ї Рака і подвійне скупчення χ і h Персея для неозброєного ока не показують окремих зір, а виглядають як слабкі туманні плями. Всього відомо біля 1200 розсіяних скупчень. Кількість зір в них — від десятків до тисяч, розміри — від 2 до десятків парсек. Розсіяні скупчення розташовані в площині нашої Галактики. В них переважають зорі головної послідовності.

Серед кулястих скупчень тільки два — ω Тукана і ω Центавра — можна побачити неозброєним оком. Вони виглядають як зорі, і тільки в телескоп видно, що це велетенські кулеподібні зібрання великої кількості зір (рис. 7.15). *Кулясті скупчення* містять від десятків тисяч до мільйонів зір і мають розміри від 20 до 100 пк. В них мало біло-

голубих зір, але багато червоних гігантів. Кулясті скупчення рівномірно концентруються з усіх боків до центра Галактики. Найяскравіші кулясті скупчення, видимі у нас — М 13 в Геркулесі і М 22 у Стрільці.

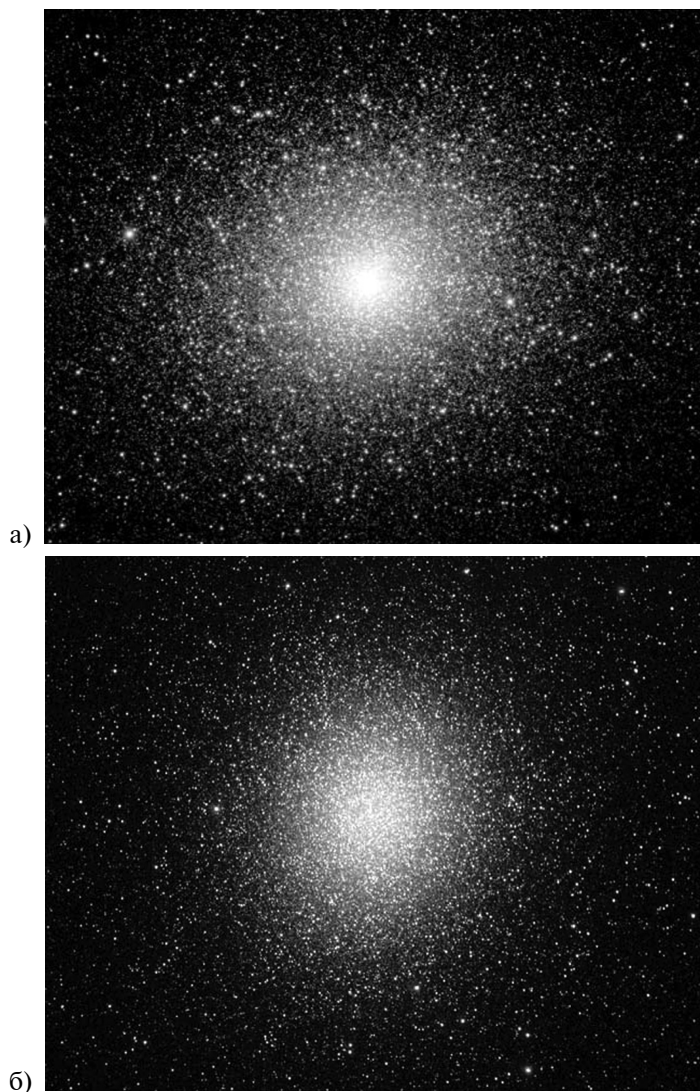


Рис. 7.15. Кулясті скупчення 47 Тукана (а) і ω Кентавра (б)

Міжзоряний простір не є зовсім порожнім. Всюди є речовина — атоми, іони, молекули, пилинки. Густина міжзоряного середовища дуже мала — 10^{-24} г/см³, або приблизно 1 атом в 1 см³. Подекуди газ і пил згущуються, утворюючи *туманності*. Туманності поділяються на світлі і темні. *Світлі туманності* дуже різноманітні за виглядом. Серед них є *дифузні*, неправильної форми, наприклад, яскрава Туманність Оріона, видима неозброєним оком ясними безмісячними зимовими ночами. Є дуже красиві *волокнисті туманності*, але вони дуже слабкі, і їхню будову можна вивчати за допомогою фотографії та ПЗЗ-матриць. *Планетарним туманностям* звичайно властива округла форма, вони являють собою газові оболонки, утворені речовиною, втраченою зорею, котра розташована в центрі туманності. Якщо згущення міжзоряного пилу освітлюється яскравою зорею, така туманність теж буде світлою, але якщо такої зорі немає, то пилу туманність ми бачимо як темну хмару. Особливо ефектно *темні туманності* виглядають на тлі більш віддалених світлих туманностей, як наприклад, Кінська голова, розташована біля поясу Оріона (рис. 7.16, 7.17, 7.18).

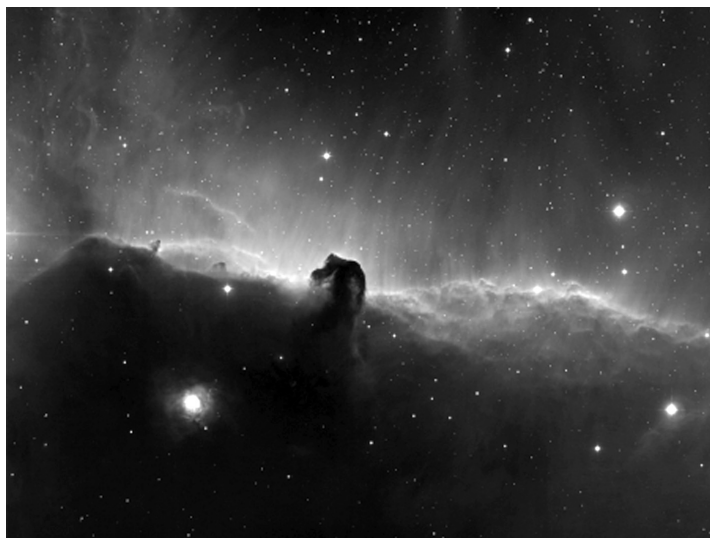


Рис. 7.16. Комплекс світлих і темних туманностей у сузір'ї Оріона: добре видно темну туманність «Кінська голова» (Барнард 33) на тлі емісійної туманності IC 434, а також відбивну туманність NGC 2023 (внизу ліворуч)



Рис. 7.17. Планетарна туманність NGC 7293 («Слимак») із сузір'я Водолія



Рис. 7.18. Планетарна туманність Абель 39 із сузір'я Геркулеса

Туманності дуже різноманітні. Сучасні телескопи показують такі деталі їхньої будови, котрі в жоден телескоп оком неможливо побачити. Справа в тому, що наше око неспроможне накопичувати світло, як це робить фотографічна пластинка чи ПЗЗ-матриця. Вражаючі різнобарвні зображення, що їх демонструють науково-популярні видання або Інтернет, — це результат комп'ютерної обробки, причому часто застосовується суміщення кількох зображень, отриманих у різних спектральних діапазонах.

7.5. ГАЛАКТИКИ, ПОЗАГАЛАКТИЧНІ ОБ'ЄКТИ

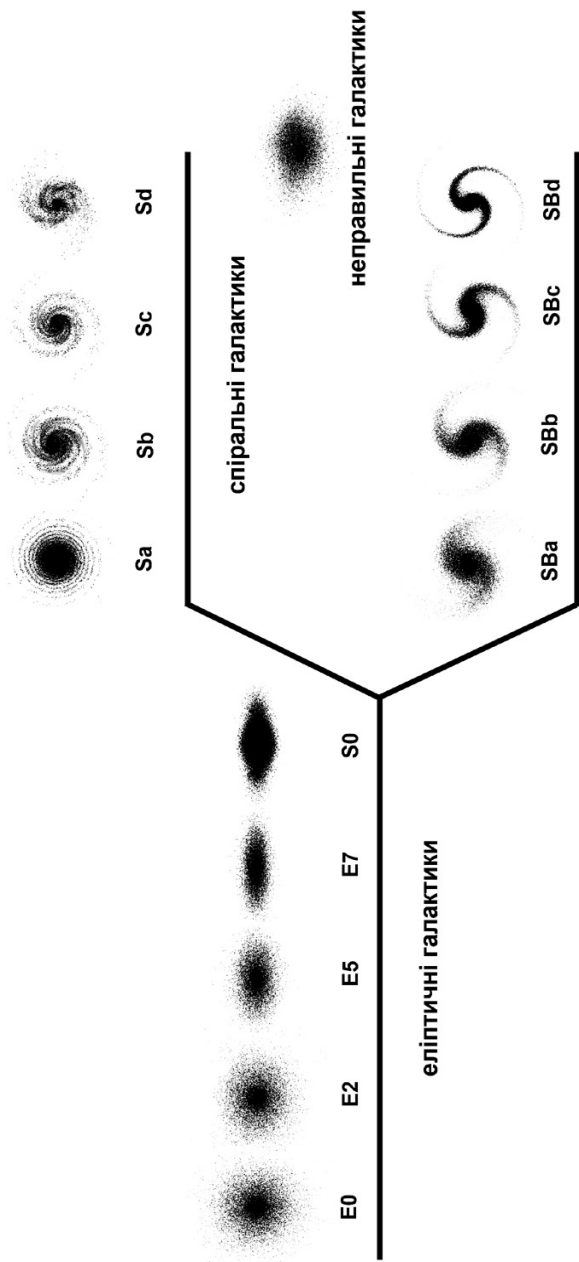
Біля ста років тому вперше було доведено, що за межами нашої Галактики існують інші зоряні системи. Спостереження, виконані упродовж століття, сформували нову картину навколишнього світу. Те, що ми спостерігаємо за межами Галактики, можна розділити на декілька основних класів. Це галактики, скупчення галактик, надскупчення галактик, квазари, джерела гамма-спалахів, мікрохвильовий фон (реліктове випромінювання).

Галактики — це далекі велетенські гравітаційно зв'язані зоряні системи. У кожній з них налічуються десятки і навіть сотні мільярдів зір. Приваблює тут розмаїття форм. Галактики за їхнім зовнішнім виглядом класифікував американський астроном *Едвін Хаббл* (1889–1953) у 1924 р. після того, як йому вдалося довести, що ці об'єкти справді перебувають за межами нашої Галактики. Хаббл згрупував відомі вже йому об'єкти у три класи — еліптичні E, спіральні S, неправильні Iг (рис. 7.19).

Для *еліптичних галактик*, що мають вигляд правильних куль або еліпсоїдів, типовим є плавне зменшення яскравості від центра до периферії (рис. 7.20). Цю групу поділяють на вісім підкласів — від E0 (кулеподібні) до E7 («довжина» приблизно в 3 рази більша за «ширину») залежно від видимого стиску $n = 10 \frac{a-b}{a}$, де a і b — велика і мала півосі галактики.

Серед еліптичних галактик є велетенські зоряні системи і є чимало так званих *карликових еліптичних галактик*, які значно поступаються першим за розмірами і масами.

Проміжними між еліптичними і спіральними галактиками є *лінзоподібні галактики* S0 або SB0. Як і галактики типу E, вони не мають

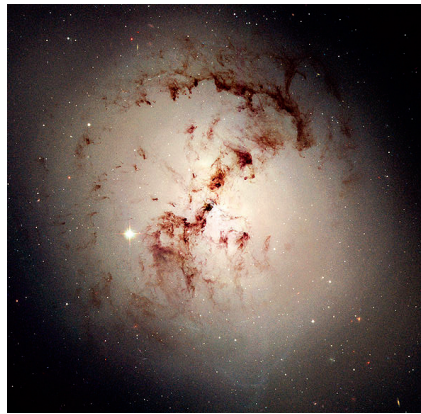


спіральні галактики з перемичкою

Рис. 7.19. Класифікація галактик — «камертонна» діаграма Хаббла



NGC 3379



NGC 1361



NGC 3377

Рис. 7.20. Еліптичні галактики: NGC 3379 — тип E0, NGC 1361 — тип E2, NGC 3377 — тип E6

певної внутрішньої структури. Яскравість ближче до краю в них змінюється не плавно, а стрибками. Тут виділяють *ядро*, дуже сплюснуте згущення — *лінзу* і слабкий, іноді кільцеподібний ореол (рис. 7.21).



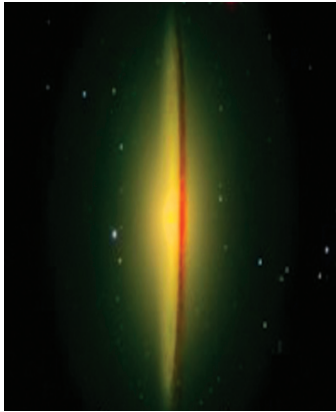
Рис. 7.21. Лінзоподібна галактика NGC 4371 з центральною перемичкою (тип SBO)

Спіральні галактики складаються з центрального балджа і ядра, гало, диска і декількох спіральних рукавів.

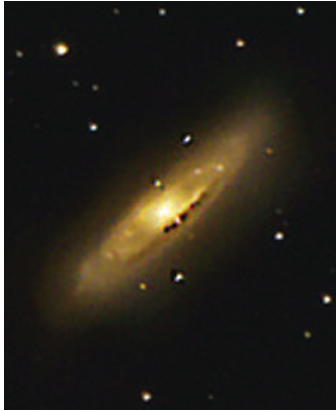
У звичайних спіральних галактик S ці вітки виходять безпосередньо від ядра. Залежно від ступеня розвитку спіралей ці галактики поділяють на підкласи: Sa — велике ядро і ледве помітні спіралі; Sb — спіралі розвинуті чіткіше; Sc — мале ядро і майже вся речовина сконцентрована в спіралях; Sd — дуже мале ядро (рис. 7.22).

Найвражаючою галактикою типа Sa, мабуть, є «Сомбреро» (NGC 4594 = M 104) у Діві. Добре видні диск, облямований смугою міжзоряного пилу, більш прозоре гало і численні кулясті скупчення. А галактика M 65 (NGC 3623) у сузір'ї Лева, того самого типу, має активне ядро.

Із галактик типу Sb найвідоміша — M 31 = NGC 224, «туманність Андромеди». Ми її бачимо майже збоку. Вся система має значні кутові розміри — більше 3° . Діаметр (з короною) — 60 кпк, а відстань



NGC 4594



NGC 3623



NGC 224



NGC 891



NGC 3031



NGC 7331

Рис. 7.22. Нормальні спіральні галактики: NGC 4594, NGC 3623 — тип Sa;
NGC 224, NGC 891, NGC 3031, NGC 7331 — тип Sb

до неї — 750 кпк. В ній більше 200 мільярдів зір, приблизно як і в нашій Галактиці. Галактика NGC 891 (теж в Андромеді) з потужним «поясом» пилу видна точно з ребра. В галактиці NGC 3031, 8-ї зоряної величини, у Великій Ведмедиці, є прямолінійні структури, у неї активне ядро. NGC 7331 в Пегасі, 10-ї величини, теж з активним ядром, відома тим, що, на відміну від більшості галактик, у неї чітко видно, який її бік ближчий до нас. Вимірявши променеві швидкості на різних її кінцях, встановили, що спіральні рукави закручуються, а не розкручуються при обертанні зоряної системи.

До проміжного типу Sbc (рис. 7.23) належать: NGC 1531 в Еридані; NGC 5194 — «Коловорот» — в Гончих Псах, 8-ї величини, з активним ядром і супутником, неправильною галактикою NGC 5195; NGC 4501 у Волоссях Вероніки. До класу Sc належать, наприклад, NGC 3184, 10-ї величини, у Великій Ведмедиці; NGC 5236, 8-ї величини, в Гідрі; NGC 7793.

У деяких спіральних галактик (тип SB) балдж видовжений та інколи часто зветься *перемичкою*. Більш вдалим є англійське слово *bar*, що взагалі означає видовжений предмет. Зараз його звичайно не перекладають і кажуть про галактики із *баром*. З кінців бару і починаються спіральні рукави. Залежно від розвитку спіралей ці галактики поділяють на підкласи SBa, SBb, SBc і SBd.

З метою точнішої класифікації використовують також комбінації: Sab, Sbc та ін. Є підстави стверджувати, що за своїм зовнішнім виглядом і основними характеристиками наша Галактика належить до проміжного типу Sbc — SBbc.

Із галактик з баром назвемо NGC 1291 (тип SBa), NGC 3351 у сузір'ї Лева, NGC 4548 у Волоссях Вероніки. Дві останні належать до типу SBb. Прикладами галактик типу SBc є NGC 1232, 10-ї величини, в Еридані, NGC 4535 в Діві, NGC 2903 у сузір'ї Лева (рис. 7.24).

До *неправильних галактик* підтипу Ir I належать ті, в яких відсутні чітко виражене ядро і спіральна структура, а також не проявляється обертальна симетрія. В галактиках, що належать до цього типу, виділяються яскраві групи зір спектральних класів O і B. Підтип Ir II не показує симетрії у формі, розподіл яскравості досить рівномірний, інколи наявні темні смуги поглинання пилу.

Найвідоміші із неправильних галактик — це супутники нашої Галактики Магелланові Хмари (рис. 7.25). Велика Магелланова Хмара (ВМХ) знаходиться у сузір'ї Золотої Риби. Відстань до неї 52 кпк, а в довжину вона простягається приблизно на 8 кпк. У неї складна



NGC 1531



NGC 5194



NGC 4501



NGC 3184



NGC 5236



NGC 7793

Рис. 7.23. Нормальні спіральні галактики. Тип Sbc: NGC 1531, NGC 5194, NGC 4501; тип Sc: NGC 3184, NGC 5236; тип Sd: NGC 7793



NGC 1291



NGC 3351



NGC 4548



NGC 1232



NGC 4535



NGC 2903

Рис. 7.24. Спиральні галактики з перемичкою: NGC 1291 — тип SBa; NGC 3351, NGC 4548 — тип SBb; NGC 1232, NGC 4535 — тип SBc; NGC 2903 — тип SBd

структура, зокрема, можна виділити утворення, яке за виглядом нагадує бар у SB галактик. Мала Магелланова Хмара (ММХ) знаходиться у сузір'ї Тукана і до неї 71 кпк. Вона менша, ніж ВМХ, її розміри всього 3 кпк. До речі, саме її малість (порівняно з відстанню до неї) дозволила свого часу Генрієтті Лівітт стверджувати, що різниця у абсолютних зоряних величинах цефеїд, котрих вона багато виявила у ММХ, дорівнює різниці їхніх видимих величин, оскільки відстань до цих зір практично однакова. Так Мала Магелланова Хмара відіграла вирішальну роль у відкритті залежності «період — світність» у цефеїд, а звідси, кінець кінцем — у встановленні масштабів Всесвіту. В обох Хмарах, особливо у ВМХ, багато зоряних скупчень, газових туманностей, зір-надгігантів.

Ще одну неправильну галактику, NGC 5195, супутник NGC 5194, ми бачимо на рис. 7.23).



Рис. 7.25. Неправильні галактики Велика (зліва) і Мала (справа) Магелланові Хмари

До неправильних належать і *пекулярні* галактики, кожна з яких має унікальну форму. Серед них є *дископодібні*, *кільцеві*, *асиметричні* галактики. Окремим класом є *взаємодіючі галактики*. Звичайно, це подвійні галактики, між якими спостерігаються перемички, «хвости» тощо (див., наприклад на рис. 7.23 галактики NGC 5194 і NGC 5195). На рис. 7.26 також показані взаємодіючі галактики NGC 3314 (в Гідрі) і NGC 1409/1410 (в Еридані).

Відомі також *компактні* галактики, розміри яких приблизно такі ж, як ядра спіральних галактик, а також об'єкти, які за своїм зовнішнім виглядом практично не відрізняються від звичайних зір. Приблизно 25 % вивчених галактик є еліптичними, 50 % — спіральними (з них половина типу SB), 20 % — галактики проміжного типу S0, а галактик типу Іг усього 5 %.



Рис. 7.26. Взаємодіючі галактики NGC 3314 і NGC 1409/1410

У зв'язку з «проблемою темної матерії» великий інтерес у фахівців сьогодні викликають карликові сфероїдальні галактики, блакитні компактні карликові галактики і галактики низької поверхневої яскравості, які, напевно, домінують за кількістю у Всесвіті. «Темною матерією» теоретики називають те, що виявляє себе тільки своїм притяганням. Справа в тому, що швидкості руху багатьох галактик свідчать про наявність якихось великих невидимих мас. Це може бути гі-

потетична «темна матерія», утворена не з тих елементарних частинок, що звичайна речовина, але залишається ймовірність, що й звичайної речовини вистачить, щоб пояснити спостережувані явища.

Відомості про деякі найяскравіші галактики, видимі в Україні, наведено у табл. 12-В Додатка.

Неозброєним оком на зоряному небосхилі видно лише три галактики. У північній півкулі неба це галактика Андромеди (M 31 або NGC 224), її видима зоряна величина $4,3^m$. У південній півкулі неба, далеко «під Оріоном», на відстані 20° від Південного полюса світу — Велика Магелланова Хмара і неподалік, далеко «під Китом» — Мала Магелланова Хмара, про які ми вже згадували.

Шукаючи як зоряні скупчення і туманності, так і галактики, доцільно спочатку визначити їхнє місце на карті зоряного неба, ототожнити найближчі до них зорі й після цього розшукувати їх на небі. Як і в інших випадках, слід зважати на фазу Місяця, момент його сходу чи заходу. Очевидно, що найліпші спостереження у безмісячну ніч. Амастор може спробувати отримати знімки цих об'єктів світлосильним телескопом із ПЗЗ-матрицею у головному фокусі, якщо механізм ведення телескопа забезпечує точне стеження на протязі десятків хвилин, а то й годин.

Якщо в досяжному для спостереження Всесвіті виділити сфери з радіусом 100 Мпк, то кількість речовини в них буде приблизно однаковою. В цьому розумінні можна говорити про *однорідність Всесвіту*. Однак у разі переходу до менших масштабів виявляється, що речовина розподілена нерівномірно.

Галактики утворюють *групи*, а також *скупчення* і *надскупчення*. Скупчення бувають багаті і бідні. Останні налічують невелику кількість членів. Наприклад, *Місцева група галактик* — бідне галактичне скупчення, в яке входить близько 50 галактик. Це — наша Галактика, Туманність Андромеди, Туманність Трикутника, Велика і Мала Магелланові Хмари і кілька десятків невеликих зоряних систем. Місцева група галактик займає простір близько 1 Мпк, характерний діаметр типового галактичного скупчення близький до 8 Мпк. Одним з найбільших є скупчення в сузір'ї Волосся Вероніки, що знаходиться на відстані близько 92 Мпк від нас і займає на небі ділянку діаметром майже 12° . У ньому налічують близько 10000 галактик. В Таблиці 13-В Додатка наведені дані про деякі скупчення галактик.

Скупчення входять до складу надскупчень. Надскупчення — фізично пов'язані сплющені угруповання десятків скупчень галактик і груп галактик. Вони мають типовий розмір 50 Мпк. Групи і скупчен-

ня галактик утворюють витягнуті волокна (ланцюжки), протяжність яких 10–100 Мпк, а товщина близько 1 Мпк. Багаті скупчення, що складаються з великої кількості членів, розташовані на кінцях ланцюжків або в місцях їх розгалуження. Надскупчення містить мережу волокон (або одне волоконеце) й одне або декілька багатих скупчень. Сусідні надскупчення з'єднані ланцюжками. Тобто просторове розташування галактик утворює стінки комірок, які розділені між собою велетенськими порожнинами («кавернами» або *войдами*) (рис. 7.27). Войди мають приблизно сферичну форму з діаметром від 40 Мпк до 150 Мпк, і вони не зовсім вільні від речовини, в них зустрічаються поодинокі галактики і газові хмари.

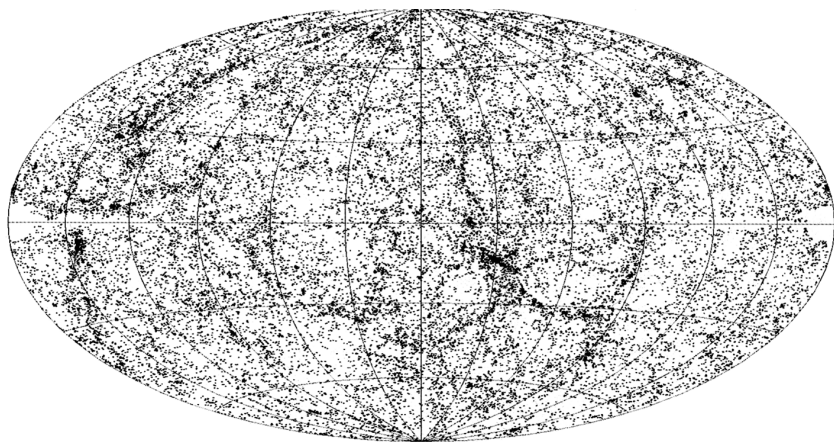


Рис. 7.27. Комірчастий розподіл галактик у просторі

У позагалактичному просторі крім різного типу галактик є й інші форми конденсованої речовини — *квасари*. Вони є потужними джерелами радіовипромінювання. Ці «квазізоряні радіоджерела» на фотографічних знімках мають вигляд звичайних зір, проте в їхніх спектрах лінії сильно зміщені в червоний бік. Це свідчить про те, що вони швидко віддаляються від нас. Згідно до стандартної моделі Всесвіту, відстань тим більша, чим більше це «червоне зміщення». Дещо про два квазари, що їх відкрили першими. Квазар 3С 273 у сузір'ї Діви ($\alpha = 12^h 29^m$, $\delta = +02^\circ 03'$), його видима зоряна величина $m = 12,9^m$. Відстань до нього 2,4 млрд світлових років. Квазар 3С 48 у сузір'ї Трикутника ($\alpha = 01^h 38^m$, $\delta = + 33^\circ 9,5'$), його $m = 16,2^m$, від-

стань понад 6 млрд. світлових років. Зараз найдальші з відкритих квазарів мають червоні зміщення, більші ніж 6,5, а це означає, що довжини хвиль спектральних ліній в спектрах цих об'єктів збільшені в 6,5 разів. Дотепер відомі десятки тисяч квазарів. Більша частина цих об'єктів має червоні зміщення від одного до трьох. На великих червоних зміщеннях кількість спостережуваних квазарів поступово зменшується.

Типовий квазар щосекунди випромінює енергії у 100 разів більше, ніж уся наша Галактика.

Слід зауважити, що далеко не всі квазари є джерелами потужного радіовипромінювання — з усіх відомих тільки 10 % можна вважати такими.

У 1965 р. відкрили *квазаги* — квазізоряні галактики. Ці об'єкти подібні до квазарів, однак із значно меншим радіовипромінюванням. У наш час їх відносять до єдиної групи квазарів і вважають, що все це — недовговічні стадії еволюційного розвитку галактик.

Найцікавішими на сьогоднішній день об'єктами є джерела *гамма-сплесків*. Перші такі сплески були виявлені у 1968 році військовими штучними супутниками серії VELA. Тривалість сплесків — від часток секунди до декількох секунд. У 1997 році було виявлено післясвітіння в оптичному діапазоні. Вимірювання червоного зміщення ліній в оптичному діапазоні дозволило довести, що джерелами гамма-сплесків є далекі позагалактичні об'єкти. Точні координати відомі тільки для тисячі сплесків, для 230 з них визначені червоні зміщення. Найбільше із зареєстрованих червоних зміщень дорівнює 8,2 для сплеску 23 квітня 2009 року, що є максимальним вимірним червоним зміщенням для будь-яких типів позагалактичних об'єктів. Джерело цього гамма-сплеску є на сьогодні найвіддаленішим об'єктом у Всесвіті, для якого виміряне червоне зміщення.

Гамма-сплески тривалістю більше десяти секунд ототожили із спалахами наднових зір. Сплески меншої тривалості є, скоріше за все, вибухами, що відбуваються при злитті компактних об'єктів, передусім нейтронних зір. Такі події у рядовій галактиці відбуваються дуже рідко, але завдяки тому, що ми можемо реєструвати сплески у всьому спостережному Всесвіті, дотепер зареєстровано більше десяти тисяч цих подій.

Крім речовини, з якої утворені об'єкти Всесвіту, і випромінювання самих об'єктів, весь об'єм заповнений ще й особливим типом випромінювання, що зветься *реліктовим*. Воно є найдальшим дже-

релом випромінювання. Це випромінювання Всесвіту, яке домінує в діапазоні довжин хвиль від 0,05 см до 50 см. Відкрили його *А. Пензіас* і *Р. Уілсон* у 1965 році. Реліктове випромінювання не виникло в будь-яких джерелах, воно було від самого початку розширення Всесвіту. Тому інша його назва: «мікрохвильовий фон». Спектр реліктового випромінювання відповідає випромінюванню чорного тіла з температурою 2,7 К.

Реліктове випромінювання ізотропне, тобто його температура практично однакова для всіх напрямів, а флуктуації температури під час переходу від одного напрямку до іншого не перевищують 10^{-4} – 10^{-5} К.

Реліктове випромінювання було передбачено *Георгієм (Джорджем) Гамовим* у моделі гарячого Всесвіту, за якою в ранню епоху вся речовина Всесвіту перебувала у рівновазі з фотонами, причому температура цього стану була дуже високою — мільярд кельвінів і вище. Внаслідок загального розширення Всесвіту температура речовини і випромінювання в часі зменшувалася, тому сьогодні температура реліктового випромінювання становить усього 2,7 К.

Крім згаданої вище «темної матерії», останнім часом астрофізики та фізики-теоретики запровадили ще одну сутність — «темну енергію». За стандартною моделлю, Всесвіт розширюється, про що свідчить червоне зміщення. Виявляється (правда, на межі спостережних можливостей), що це розширення відбувається із прискоренням. Ніби у Всесвіті є щось («темна енергія», «п'ята сутність», ...), що спричиняє це прискорення. Втім, дуже великі теоретичні труднощі і брак достовірних даних спостережень поки що не дозволяють вченим дійти згоди в цьому питанні.

Список літератури

- Андреанов Н. К., Марленский А. Д.* Астрономические наблюдения в школе. — М.: Просвещение, 1987.
- Андреанов Н. К., Марленский А. Д.* Школьная астрономическая обсерватория. — М.: Просвещение, 1977.
- Андрієвський С. М., Климишин І. А.* Курс загальної астрономії. — Оdesa: Астропринт, 2010.
- Астрономический календарь.* Постоянная часть. — М.: Наука, 1981.
- Астрономический календарь ВАГО:* Переменная часть. — М.: [Выходит щорічно].
- Астрономічний енциклопедичний словник /* За загальною редакцією І. А. Климишина та А. О. Корсунь. — Львів, 2003.
- Астрономічний календар.* — К.: [Выходит щорічно].
- Кононович Э. В., Мороз В. И.* Общий курс астрономии. — М., 2004.
- Беляев Н. А., Чурюмов К. И.* Комета Галлея ее наблюдение. — М.: Наука, 1985.
- Бонов Ангел.* Митове и легенди за съзвездията. — София, 1976.
- Боярченко І. Х.* Вивчення астрономії в школі. — К., 1967.
- Бронштэн В. А.* Планеты и их наблюдение. — М.: Наука, 1981.
- Ващенко В. М.* Саморобний телескоп. — К.: Рад. шк., 1979.
- Воронцов-Вельяминов Б. А.* Очерки о Вселенной. — М.: Наука, 1976.
- Дагаев М. М.* Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. — М.: Высш. шк., 1972.
- Дагаев М. М.* Наблюдения звездного неба. — М., 1985.
- Данлоп С.* Азбука звездного неба. — М.: Мир, 1990.
- Засов А. В., Постнов К. А.* Общая астрофизика. — М.: Фразино, 2006.
- Зигель Ф. Ю.* Сокровища звездного неба. — М.: Наука, 1986.
- Карпенко Ю. А.* Названия звездного неба. — М., 1981.
- Карта Луны.* — М., 1967.
- Климишин І. А.* Зоряне небо України. — Івано-Франківськ, 2005.
- Климишин І. А.* Історія астрономії. — Івано-Франківськ: Гостинець, 2006.
- Климишин І. А.* Нариси з історії астрономії. — К.: Рад. шк., 1987.
- Климишин І. А.* Небо нашої планети. — Львів: Львів. ун-т, 1979.
- Климишин І. А.* Перлини зоряного неба. — К.: Рад. шк., 1981.

- Колчинский И. Г., Орлов М. Я., Прох Л. З., Пугач А. Ф.* Что можно увидеть на небе. — К.: Наук. думка, 1982.
- Короткий астрономічний календар.* — К.: Наук. думка, 1948—1995.
- Куликовский П. Г.* Звездная астрономия. — М.: Наука, 1985.
- Куликовский П. Г.* Справочник любителя астрономии. — М.: Эдиториал УРСС, 2002.
- Кутю П.* Наблюдения визуально-двойных звезд. — М.: Мир, 1981.
- Левитан Е. П.* Астрономия. — М.: Высш. шк., 1983.
- Левитан Е. П.* Малышам о звездах. — М.: Педагогика, 1986.
- Линде А. Д.* Физика элементарных частиц и инфляционная космология. — М.: Наука, 1990.
- Максимачев Б. А., Комаров В. Н.* В звездных лабиринтах. — М.: Наука, 1978.
- Марленский А. Д., Ковязин Е. Н.* Карта движений планет. — М.: Наука, 1970.
- Марленский А. Д.* Основы космонавтики. — М.: Просвещение, 1985.
- Марленский А. Д.* Учебный звездный атлас. — М.: Просвещение, 1970.
- Мартынов Д. Я.* Курс общей астрофизики. — М.: Наука, 1988.
- Миннарт М.* Практическая астрономия. — М.: Мир, 1971.
- Михайлов А. А.* Атлас звездного неба (20 карт). — Л.: Наука, 1978.
- Михайлов А. А.* Атлас звездного неба. — Л.: Наука, 1978.
- Новашин М. С.* Телескоп астронома-любителя. — М.: Наука, 1979.
- Осипов О. К.* Карта зоряного неба. — К.: Рад. шк., 1983.
- Рей Г.* Звезды. — М.: Мир, 1969.
- Сикорук Л. Л.* Телескопы для любителя астрономии. — М.: Наука, 1982.
- Сикорук Л. Л., Шпольский М. Р.* Любительская астрофотография. — М.: Наука, 1986.
- Свешніков С. І.* Астрономія і космонавтика. — К., 1966.
- Сытинская Н. Н.* Луна и ее наблюдение. — М.: Тех.-теор. лит., 1956.
- Уллерих К.* Ночи у телескопа. — М.: Мир, 1966.
- Хлопов М. Ю.* Космомикрофизика. — М.: УРСС, 2003.
- Цесевич В. П.* Переменные звезды и способы их исследования. — М.: Наука, 1970.
- Цесевич В. П.* Что и как наблюдать на небе. — М.: Наука, 1984.
- Чепрасов В. Г.* Завдання, запитання і задачі з астрономії. — К.: Освіта, 1992.
- Чепрасов В. Г.* Практикум з курсу загальної астрономії — К.: Вищ. шк., 1976.

- Чурюмов К. И.* Кометы и их наблюдение. — М.: Наука, 1980.
- Шевченко В. В.* Луна и ее наблюдение. — М.: Наука, 1983.
- Школьный астрономический календарь.* — М.: [Выдается ежегодно].
- Яхно Г. С.* Наблюдения и практические работы по астрономии в средней школе. — М., 1978.
- Lindner K.* Astronomie selbst erlebt. — Leipzig, Jena, Berlin, 1979.
- Rükl A.* Mond, Mars, Venus. Taschenatlas der erdnächsten Himmelskörper. — Praha, 1977.

Додатки

А. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Таблиця 1-А

ГРЕЦЬКИЙ АЛФАВІТ

Α, α	альфа	Η, η	ета	Νν	ню	Ττ	тау
Β, β	бета	Θ, θ	тета	Ξξ	ксі	Υυ	іпсилон
Γ, γ	гамма	Ι, ι	йота	Οο	омікрон	Φφ	фі
Δ, δ	дельта	Κ, κ	каппа	Ππ	пі	Χχ	хі
Ε, ε	епсилон	Λ, λ	лямбда	Ρρ	ро	Ψψ	псі
Ζ, ζ	дзета	Μ, μ	мю	Σσ	сігма	Ωω	омега

Таблиця 2-А

ДЕЯКІ МАТЕМАТИЧНІ ВЕЛИЧИННИ

Відношення довжини кола до його діаметра $\pi = 3,1415927$, $\lg \pi = 0,49715$. Основи натуральних логарифмів $e = 2,71828$, $M = \lg e = 0,43429$, $\lg M = 1,63778$, $\frac{1}{M} = \ln 10 = 2,30259$,

$\ln \pi = 1,14473$. 1 радіан = $\frac{180^\circ}{\pi} = 57,29578^\circ = 57^\circ 17' 44,80525'' = 206264,80625''$. $1^\circ = 0,017453$ радіана; $1'' = 0,00000484814$ радіана.

$$\sin 1^\circ = 0,017453, \sin 1' = 0,0002909, \sin 1'' = 0,00000485.$$

$$\pi^2 = 9,86960, \frac{1}{\pi} = 0,31831, \sqrt{\pi} = 1,77245, \sqrt[3]{\pi} = 1,46459.$$

$$e^2 = 7,38906, \frac{1}{e} = 0,36788, \sqrt{e} = 1,64872, \sqrt[3]{e} = 1,39561.$$

$$\text{Площа сфери} = 129600/\pi = 41252,961 \text{ кв. градуса}, 360^\circ = 21600' = 1296000''.$$

Таблиця 3-А

ДЕЯКІ ФІЗИЧНІ СТАЛІ

Гравітаційна стала $G = 6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2} = 6,672 \cdot 10^{-8} \text{ г}^{-1} \text{ см}^3 \text{ с}^{-2}$.

Швидкість світла у вакуумі $c = 2,997925 \cdot 10^8 \text{ м/с} \approx 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$.

Стала Планка $h = 6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} = 6,626 \cdot 10^{-27} \text{ ерг} \cdot \text{с}$.

Маса спокою електрона $m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 9,110 \cdot 10^{-28} \text{ г}$.

Заряд електрона $e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{ одиниць СГСЕ}$.

Маса спокою протона $m_p = 1,6726485 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,673 \cdot 10^{-24} \text{ г}$.

Маса спокою нейтрона $m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Відношення маси протона до маси електрона $m_p/m_e = 1836,15152$.

Число Авогадро (число молекул на моль) $N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Молярна газова стала $R = 8,31441 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1} = 1,986 \text{ кал/К} \cdot \text{моль}$.

Стала Больцмана $k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} = 1,38 \cdot 10^{15} \text{ ерг/К}$.

Стала густини випромінювання $a_R = 7,56566 \cdot 10^{-16} \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К}^{-4} = 7,566 \cdot 10^{-15} \text{ ерг}/(\text{см}^3 \cdot \text{К}^4)$.

Стала Стефана-Больцмана $\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4} = 5,67 \cdot 10^{-5} \text{ ерг}/(\text{см}^2 \cdot \text{К}^4 \cdot \text{с})$.

1 мала калорія = $4,1855 \text{ Дж} \approx 4 \cdot 10^7 \text{ ерг}$.

АСТРОНОМІЧНІ СИМВОЛИ, ПОЗНАЧЕННЯ І СКОРОЧЕННЯ

Астрономічні символи та позначення

*	зоря	●	новий Місяць
♁	комета	☾	перша чверть
○	Галактика	○	повня
✓	метеор	☾	остання (третя) чверть
<i>Var</i>	змінна зоря	♋	сполучення (різниця геоцентричних довгот 0°)
♁	висхідний вузол орбіти	♌	протистояння (різниця довгот 180°)
♁	низхідний вузол орбіти	□	квадратура (різниця довгот 90°)
<i>N</i>	північ, <i>NE</i> – північний схід	β	екліптична широта
<i>S</i>	південь, <i>SE</i> – південний схід	φ	географічна широта
<i>E</i>	схід, <i>NW</i> – північний захід	<i>z</i>	зенітна відстань
<i>W</i>	захід, <i>SW</i> – південний захід	μ	власний рух зорі
<i>a</i>	рік	<i>l</i>	галактична довгота
<i>d</i>	доба	<i>b</i>	галактична широта
<i>h, m, s</i>	година, хвилина, секунда часу	π	річний паралакс
° ' "	градус, мінута, секунда дуги	<i>Vr</i>	променева швидкість
<i>A</i>	азимут	<i>h</i>	висота світила над горизонтом
α	або <i>AR</i> пряме піднесення	<i>t</i>	годинний кут світила
δ	схилення	<i>S</i>	зоряний час
λ	довгота екліптична, а також географічна		

Позначення зодіакальних сузір'їв ("Знаки зодіаку")

♈	Aries Овен, а також точка весняного рівнодення, яка тепер знаходиться у сузір'ї Риби	♎	Libra Терези, а також точка осіннього рівнодення, яка тепер знаходиться у сузір'ї Діви
♉	Taurus Телець	♏	Scorpius Скорпіон
♊	Gemini Близнята	♐	Sagittarius Стрілець
♋	Cancer Рак, а також точка літнього сонцестояння, яка тепер знаходиться у сузір'ї Тельця	♑	Capricornus Козоріг, а також точка зимового сонцестояння, яка тепер знаходиться у сузір'ї Стрільця
♌	Leo Лев	♒	Aquarius Водолей
♍	Virgo Діва	♓	Pisces Риби

Скорочення

Ампл. – амплітуда зміни блиску змінної зорі	Біл. карл. – білий карлик
Гол. – головна зоря	Зат.-зм. – затемнена змінна зоря
Зм. – змінна зоря	Зат.-подв. – затемнювана подвійна зоря
Зат. і спектр.-подв. – затемнювана і спектрально-подвійна зоря	Напівпр. зм. – напівправильно змінна зоря
Неправ. зм. – неправильно змінна зоря	Невид. суп. – невидимий супутник зорі
Опт. суп. – оптичний супутник	Подв. – подвійна зоря
Потр. – потрійна зоря	Сист. – система зір
Спалах зм. – спалахуюча змінна зоря	Спектр.-подв. – спектрально-подвійна зоря
Суп. – супутник зорі	Фіз. пара – фізична пара

ВІЧНИЙ КАЛЕНДАР**Правила користування вічним табель-календарем**

Знайдіть у лівій частині таблиці рядок, який містить перші дві цифри потрібного року (за старим або новим стилем), а у верхній – графу з останніми двома цифрами року). Запам'ятайте букву на перетині графи і рядка. Ця буква «діє» протягом усього року. У таблиці праворуч знайдіть потрібний місяць. У рядку, де є цей місяць, відшукайте знайдену раніше букву. Розміщена під цією буквою графа днів тижня відповідає числам узятото місяця. Дати місяця – ліворуч.

При цьому треба відрізнати місяці січень та лютий простого і високосного років. Вони займають різне положення у графі місяців: прості місяці позначено Іп і Іп; місяці високосного року – Ів та Ів.

П р и к л а д. Знайти, на який день у 1984 р. припадало свято Перше Травня. Зліва у графі нового стилю знаходимо цифру 19, а вверху таблиці 84. На місці перетину рядка і графи стоїть буква З. Знаходимо цю букву в рядку, що відповідає травню (другий зверху). Опускаємось від цієї букви вниз до днів тижня, які відповідають порядковим числам травня, що стоять зліва. Отже, 1 травня 1984 р. було у вівторок.

Якщо ж ідеться про дату до н. е., то передовсім переводимо дату історичну в астрономічну, тобто зменшуємо число року R на одиницю (145 р. до н. е. = -144). Потім дві останні цифри переводимо в додатне число, додавши 100 (замість -44 маємо число $+56$). Його і шукаємо у верхній частині таблиці. Наприклад, для 145 р. до н. е. на перетині горизонтальної лінії $x = -1$ і вертикальної $y = 56$ знаходимо літеру року Ж, і переконуємося, що 1 січня 145 р. до н. е. була субота (високосним будуть ті роки, для яких $R-1$ ділиться на 4 без остачі).

Вічний табель-календар

для визначення дня тижня будь-якої календарної дати
старого і нового стилю

					Другі дві цифри року																																																																																														
					00	01	02	03	04	05		06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
Перші дві цифри року																		Місяці																																																																																	
Старий стиль				Новий стиль																																																																																															
-2	4	11	18	15	19	З	А	В	Г	Д	Е	Ж	Іп, X																																																																																						
-4	5	12	19	16	20	Ж	З	А	В	Г	Д	Е	V																																																																																						
-0	6	13				Е	Ж	З	А	В	Г	Д	Ів, VIII																																																																																						
0	7	14		17	21	Д	Е	Ж	З	А	В	Г	Іп, III, XI																																																																																						
1	8	15				Г	Д	Е	Ж	З	А	В	VI																																																																																						
2	9	16		18	22	В	Г	Д	Е	Ж	З	А	ІХ, XII																																																																																						
3	10	17				А	В	Г	Д	Е	Ж	З	Ів, IV, VII																																																																																						
Д а т а	1	8	15	22	29	Пн.	Вт.	Ср.	Чт.	Пт.	Сб.	Нд.	Дні тижня																																																																																						
	2	9	16	23	30	Вт.	Ср.	Чт.	Пт.	Сб.	Нд.	Пн.																																																																																							
	3	10	17	24	31	Ср.	Чт.	Пт.	Сб.	Нд.	Пн.	Вт.																																																																																							
	4	11	18	25		Чт.	Пт.	Сб.	Нд.	Пн.	Вт.	Ср.																																																																																							
	5	12	19	26		Пт.	Сб.	Нд.	Пн.	Вт.	Ср.	Чт.																																																																																							
	6	13	20	27		Сб.	Нд.	Пн.	Вт.	Ср.	Чт.	Пт.																																																																																							
	7	14	21	28		Нд.	Пн.	Вт.	Ср.	Чт.	Пт.	Сб.																																																																																							

ОРІЄНТОВНІ ДАТИ НОВОГО МІСЯЦЯ НА ХХ–ХХІ СТОЛІТТЯ

XX ст.		Роки				Місяці																		
		XXI ст.		I, II ст.		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII
44	63	82	1	20	39	25	23	23	23	23	21	21	21	19	18	17	16	15	15	15	15	15	15	15
45	64	83	2	21	40	14	12	12	12	12	12	10	10	10	8	7	6	5	4	4	4	4	4	4
46	65	84	3	22	41	3	2	2	2	2	1-31	29	29	27	26	25	24	23	23	23	23	23	23	23
47	66	85	4	23	42	22	20	20	20	20	18	18	18	16	15	14	13	12	12	12	12	12	12	12
48	67	86	5	24	43	11	9	9	9	9	7	7	7	5	4	3	2	1-31	1-31	1-31	1-31	1-31	1-31	1-31
49	68	87	6	25	44	30	28	28	28	28	26	26	26	24	23	22	21	20	20	20	20	20	20	20
50	69	88	7	26	45	19	17	17	17	17	15	15	15	13	12	11	10	9	9	9	9	9	9	9
51	70	89	8	27	46	8	6	6	6	6	4	4	4	2	1	1-30	29	28	28	28	28	28	28	28
52	71	90	9	28	47	27	25	25	25	25	23	23	23	21	20	19	18	17	17	17	17	17	17	17
53	72	91	10	29	48	16	14	14	14	14	12	12	12	10	9	8	7	6	6	6	6	6	6	6
54	73	92	11	30	49	5	4	4	4	4	3	2	1-31	28	27	26	25	24	24	24	24	24	24	24
55	74	93	12	31	50	23	21	21	21	21	19	19	19	17	16	15	14	13	13	13	13	13	13	13
56	75	94	13	32	51	12	10	10	10	10	8	8	8	6	5	4	3	2	2	2	2	2	2	2
57	76	95	14	33	52	1-31					27	27	27	25	24	23	22	21	21	21	21	21	21	21
58	77	96	15	34	53	20	18	18	18	18	16	16	16	14	13	12	11	10	10	10	10	10	10	10
59	78	97	16	35	54	9	7	7	7	7	5	5	5	3	2	2-31	30	29	29	29	29	29	29	29
60	79	98	17	36	55	28	26	26	26	26	24	24	24	22	21	20	19	18	18	18	18	18	18	18
61	80	99	18	37	56	17	15	16	16	16	15	13	13	11	10	9	8	7	7	7	7	7	7	7
62	81	2000	19	38	57	6	4	5	5	5	4	3	2	1-31	29	28	27	26	26	26	26	26	26	26

**ВІДПОВІДНІСТЬ ДАТ МУСУЛЬМАНСЬКОГО І ГРИГОРІАНСЬКОГО
КАЛЕНДАРІВ**

Рік хіджри	Кількість днів у році	Дата григоріанського календаря, а також день тижня, на які припадає 1 Мухаррама (Новий рік)
1422	354	26.03.2001. Пн
1423*	355	15.03.2002. Пт
1424	354	04.03.2003. Вт
1425	354	22.02.2004. Нд
1426*	355	10.02.2005. Чт
1427	354	31.01.2006. Вт
1428*	355	20.01.2007. Сб
1429	354	10.01.2008. Чт
1430	354	29.12.2008. Пн
1431*	355	18.12.2009. Пт
1432	354	08.12.2010. Ср
1433	354	27.11.2011. Нд
1434*	355	15.11.2012. Чт
1435	354	05.11.2013. Вт
1436*	355	25.10.2014. Сб
1437	354	15.10.2015. Чт
1438	354	03.10.2016. Пн
1439*	355	22.09.2017. Пт
1440	354	12.09.2018. Ср
1441	354	01.09.2019. Нд
1442*	355	20.08.2020. Чт
1443	354	10.08.2021. Вт
1444	354	30.07.2022. Сб
1445*	355	19.07.2023. Ср
1446	354	08.07.2024. Пн
1447*	355	27.06.2025. Пт

Примітка. Зірочкою позначені високосні роки.

ВІДПОВІДНІСТЬ ДАТ ЄВРЕЙСЬКОГО І ГРИГОРІАНСЬКОГО КАЛЕНДАРІВ

Номер року в циклі	Рік єврейської ери	Дата григоріанського календаря, на яку припадає 1 Тішрі (Новий рік)	Кількість днів у році	Дата григоріанського календаря, на яку припадає 15 Нісана (Пасха)
18	5756	25.09.1995. Пн	355	04.04.1996. Чт
19	5757*	14.09.1996. Сб	383	22.04.1997. Вт
1	5758	02.10.1997. Чт	354	11.04.1998. Сб
2	5759	21.09.1998. Пн	355	01.04.1999. Чт
3	5760*	11.09.1999. Сб	385	20.04.2000. Чт
4	5761	30.09.2000. Сб	353	08.04.2001. Нд
5	5762	18.09.2001. Вт	354	28.03.2002. Чт
6	5763*	07.09.2002. Сб	385	17.04.2003. Чт
7	5764	27.09.2003. Сб	355	06.04.2004. Вт
8	5765*	16.09.2004. Чт	383	24.04.2005. Нд
9	5766	04.10.2005. Вт	354	13.04.2006. Чт
10	5767	23.09.2006. Сб	355	03.04.2007. Вт
11	5768*	13.09.2007. Чт	383	20.04.2008. Нд
12	5769	30.09.2008. Вт	354	09.04.2009. Чт
13	5770	19.09.2009. Сб	355	30.03.2010. Вт
14	5771*	09.09.2010. Чт	385	19.04.2011. Вт
15	5772	29.09.2011. Чт	354	07.04.2012. Сб
16	5773	17.09.2012. Пн	353	26.03.2013. Вт
17	5774*	05.09.2013. Чт	385	15.04.2014. Вт
18	5775	25.09.2014. Чт	354	04.04.2015. Сб
19	5776*	14.09.2015. Пн	385	23.04.2016. Сб
1	5777	03.10.2016. Пн	353	11.04.2017. Вт
2	5778	21.09.2017. Чт	354	31.03.2018. Сб
3	5779*	10.09.2018. Пн	386	20.04.2019. Сб
4	5780	01.10.2019. Вт	354	09.04.2020. Чт
5	5781	19.09.2020. Сб	353	28.03.2021. Нд
6	5782*	07.09.2021. Вт	384	16.04.2022. Сб
7	5783	26.09.2022. Пн	355	06.04.2023. Чт
8	5784*	16.09.2023. Сб	383	23.04.2024. Вт
9	5785	03.10.2024. Чт	355	13.04.2025. Нд
10	5786	23.09.2025. Вт	355	02.04.2026. Чт

Примітка. Зірочкою позначено роки з 13 місяцями.

ДАТИ ХРИСТІЯНСЬКОЇ ПАСХИ ЗА НОВИМ СТИЛЕМ

Рік	Православна Пасха	Католицька Пасха	Рік	Православна Пасха	Католицька Пасха
2001	15.04	15.04	2026	12.04	5.04
2002	5.05	31.03	2027	2.05	28.03
2003	27.04	20.04	2028	16.04	16.04
2004	11.04	11.04	2029	8.04	1.04
2005	1.05	27.03	2030	28.04	21.04
2006	23.04	16.04	2031	13.04	13.04
2007	8.04	8.04	2032	2.05	28.03
2008	27.04	23.03	2033	24.04	17.04
2009	19.04	12.04	2034	9.04	9.04
2010	4.04	4.04	2035	29.04	25.03
2011	24.04	24.04	2036	20.04	13.04
2012	15.04	8.04	2037	5.04	5.04
2013	5.05	31.03	2038	25.04	25.04
2014	20.04	20.04	2939	17.04	10.04
2015	12.04	5.04	2040	6.05	1.04
2016	1.05	27.03	2041	21.04	21.04
2017	16.04	16.04	2042	13.04	6.04
2018	8.04	1.04	2043	3.05	29.03
2019	28.04	21.04	2044	24.04	17.04
2020	19.04	12.04	2045	9.04	9.04
2021	2.05	4.04	2046	29.04	25.03
2022	24.04	17.04	2047	21.04	14.04
2023	16.04	9.04	2048	5.04	5.04
2024	5.05	31.03	2049	25.04	18.04
2025	20.04	20.04	2050	17.04	10.04

ЮЛІАНСЬКІ ДАТИ (J. D. – 2400000) НА НУЛЬОВЕ ЧИСЛО КОЖНОГО РОКУ

Роки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1900	15020	15385	15750	16115	16480	16846	17211	17576	17941	18307
1910	18672	19037	19402	19768	20133	20498	20863	21229	21594	21959
1920	22324	22690	23055	23420	23785	24151	24516	24881	25246	25612
1930	25977	26342	26707	27073	27438	27803	28168	28534	28899	29264
1940	29629	29995	30360	30725	31090	31456	31821	32186	32551	32917
1950	33282	33647	34012	34378	34743	35108	35473	35839	36204	36569
1960	36934	37300	37665	38030	38395	38761	39126	39491	39856	40222
1970	40587	40952	41317	41683	42048	42413	42778	43144	43509	43874
1980	44239	44605	44970	45335	45700	46066	46431	46796	47161	47527
1990	47892	48257	48622	48988	49353	49718	50083	50449	50814	51179
2000	51544	51910	52275	52640	53005	53371	53736	54101	54466	54832
2010	55197	55562	55927	56293	56658	57023	57388	57754	58119	58484
2020	58849	59215	59580	59945	60310	60676	61041	61406	61771	62137
2030	62502	62867	63232	63598	63963	64328	64693	65059	65424	65789
2040	66154	66520	66885	67250	67615	67981	68346	68711	69076	69442
2050	69807	70172	70537	70903	71268	71633	71998	72364	72729	73094
2060	73459	73825	74190	74555	74920	75286	75651	76016	76381	76747
2070	77112	77477	77842	78208	78573	78938	79303	79669	80034	80399
2080	80764	81130	81495	81860	82225	82591	82956	83321	83686	84052
2090	84417	84782	85147	85513	85878	86243	86608	86974	87339	87704

Кількість днів між 0 числом року і кожного місяця

Місяць	січ.	лют.	бер.	квіт.	трав.	черв.	лип.	серп.	вер.	жовт.	лист.	груд.
звичайний	0	31	59	90	120	151	181	212	243	273	304	334
високосний	0	31	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335

Користуючись цими таблицям, розрахуємо юліанську дату J. D. на 29 червня 1963 року: $J. D. = 2400000 + 38030 + 151 + 29 = 2438210$, тобто в таблиці знайшли строку десятиліття, потім стовпець, який відповідає останній цифрі року, потім по другій таблиці – число днів між нульовим числом року і нульовим числом місяця, потім – число в місяці. Ця ціла частина J. D. дійсна від 15 годин (літній час) 29 червня до 15 годин 30 червня.

Дробова частина обчислюється як частка доби, що пройшла після полудня за Гринвічем. Наприклад, 22 години 36 хвилин 15 секунд зимового часу (який на 1 годину менше літнього, тобто замість 15 годин беремо 14) відповідають дробовій частині J. D. $(22 - 14 + (36 + 15/60)/60)/24 = 0.35851$. Інакше ще можна перевести години і хвилини у секунди та поділити на тривалість доби в секундах $(24 \cdot 60 \cdot 60 = 86400 \text{ секунд})$. Ще один приклад: 0 годин 0 хвилин 0 секунд 1 січня 2012 року – це рівно 10 годин після полудня за Гринвічем 31 грудня 2011 року. За таблицею, 1 січня 2012 р. настає J. D. 2455927, отже напередодні був J. D. 2455926. Дробова частина дорівнює $10/24 = 0.41667$. У підсумку отримуємо J. D. 2455926.41667.

ПЕРЕВЕДЕННЯ ЧАСТОК ДОБИ У ГОДИНИ, ХВИЛИНИ ТА СЕКУНДИ

Частка доби	год.	хв.	Частка доби	год.	хв.	с	Частка доби	хв.	с	Частка доби	хв.	с
0.1	2	24	0.01	0	14	24	0.001	1	26	0.0001	0	09
0.2	4	48	0.02	0	28	48	0.002	2	53	0.0002	0	17
0.3	7	12	0.03	0	43	12	0.003	4	19	0.0003	0	26
0.4	9	36	0.04	0	57	36	0.004	5	46	0.0004	0	34
0.5	12	00	0.05	1	12	00	0.005	7	12	0.0005	0	43
0.6	14	24	0.06	1	26	24	0.006	8	38	0.0006	0	52
0.7	16	48	0.07	1	40	48	0.007	10	05	0.0007	1	00
0.8	19	12	0.08	1	55	12	0.008	11	31	0.0008	1	09
0.9	21	36	0.09	2	09	36	0.009	12	58	0.0009	1	17

ПЕРЕВЕДЕННЯ ГОДИН ТА ХВИЛИН У ЧАСТКИ ДОБИ

год.	Частка доби	год.	Частка доби	хв.	Частка доби	хв.	Частка доби
1	0.0417	7	0.2917	1	0.0007	7	0.0049
2	0.0833	8	0.3333	2	0.0014	8	0.0056
3	0.1250	9	0.3750	3	0.0021	9	0.0062
4	0.1667	10	0.4167	4	0.0028	10	0.0069
5	0.2080	11	0.4583	5	0.0035	20	0.0139
6	0.2500	12	0.5000	6	0.0042	40	0.0278

**ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРОМІЖКІВ СОНЯЧНОГО СЕРЕДЬНОГО ЧАСУ В ПРОМІЖКИ
ЗОРЯНОГО**

Години, хвилини, секунди середнього часу	Години зоряного часу	Хвилини зоряного часу	Секунди зоряного часу	Хвилини, секунди середнього часу	Хвилини зоряного часу	Секунди зоряного часу
1	1 ^h 0 ^m 9,86 ^s	1 ^m 0,16 ^s	1,00 ^s	31	31 ^m 5,09 ^s	31,08 ^s
2	2 0 19,71	2 0,33	2,01	32	32 5,26	32,09
3	3 0 29,57	3 0,49	3,01	33	33 5,42	33,09
4	4 0 39,43	4 0,66	4,01	34	34 5,59	34,09
5	5 0 49,28	5 0,82	5,01	35	35 5,75	35,10
6	6 0 59,14	6 0,99	6,02	36	36 5,91	36,10
7	7 1 9,00	7 1,15	7,02	37	37 6,08	37,10
8	8 1 18,85	8 1,31	8,02	38	38 6,24	38,10
9	9 1 28,71	9 1,48	9,02	39	39 6,41	39,11
10	10 1 38,56	10 1,64	10,03	40	40 6,57	40,11
11	11 1 48,42	11 1,81	11,03	41	41 6,74	41,11
12	12 1 58,28	12 1,97	12,03	42	42 6,90	42,11
13	13 2 8,13	13 2,14	13,04	43	43 7,06	43,12
14	14 2 17,99	14 2,30	14,04	44	44 7,23	44,12
15	15 2 27,85	15 2,46	15,04	45	45 7,39	45,12
16	16 2 37,70	16 2,63	16,04	46	46 7,56	46,13
17	17 2 47,56	17 2,79	17,05	47	47 7,72	47,13
18	18 2 57,42	18 2,96	18,05	48	48 7,89	48,13
19	19 3 7,27	19 3,12	19,05	49	49 8,05	49,13
20	20 3 17,13	20 3,29	20,05	50	50 8,21	50,14
21	21 3 26,99	21 3,45	21,06	51	51 8,38	51,14
22	22 3 36,84	22 3,61	22,06	52	52 8,54	52,14
23	23 3 46,70	23 3,78	23,06	53	53 8,71	53,15
24	24 3 56,56	24 3,94	24,07	54	54 8,87	54,15
25		25 4,11	25,07	55	55 9,04	55,15
26		26 4,27	26,07	56	56 9,20	56,15
27		27 4,44	27,07	57	57 9,36	57,16
28		28 4,60	28,08	58	58 9,53	58,16
29		29 4,76	29,08	59	59 9,69	59,16
30		30 4,93	30,08	60	60 9,86	60,16

**ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРОМІЖКІВ ЗОРЯНОГО ЧАСУ В ПРОМІЖКИ СОНЯЧНОГО
СЕРЕДНЬОГО**

Години, хвилини, секунди зоряного часу	Години середнього часу	Хвилини середнього часу	Секунди середнього часу	Хвилини, секунди зоряного часу	Хвилини середнього часу	Секунди середнього часу
1	0 ^h 59 ^m 50,17 ^s	0 ^m 59,84 ^s	1,00 ^s	31	30 ^m 54,92 ^s	30,92 ^s
2	1 59 40,34	1 59,67	1,99	32	31 54,76	31,91
3	2 59 30,51	2 59,51	2,99	33	32 54,59	32,91
4	3 59 20,68	3 59,34	3,99	34	33 54,43	33,91
5	4 59 10,85	4 59,18	4,99	35	34 54,27	34,90
6	5 59 1,02	5 59,02	5,98	36	35 54,10	35,90
7	6 58 51,19	6 58,85	6,98	37	36 53,94	36,90
8	7 58 41,36	7 58,69	7,98	38	37 53,77	37,90
9	8 58 31,53	8 58,53	8,98	39	38 53,61	38,89
10	9 58 21,70	9 58,36	9,97	40	39 53,45	39,89
11	10 58 11,87	10 58,20	10,97	41	40 53,28	40,89
12	11 58 2,05	11 58,03	11,97	42	41 53,12	41,89
13	12 57 52,22	12 57,87	12,96	43	42 52,96	42,88
14	13 57 42,39	13 57,71	13,96	44	43 52,79	43,88
15	14 57 32,56	14 57,54	14,96	45	44 52,63	44,88
16	15 57 22,73	15 57,38	15,96	46	45 52,46	45,87
17	16 57 12,90	16 57,21	16,95	47	46 52,30	46,87
18	17 57 3,07	17 57,05	17,95	48	47 52,14	47,87
19	18 56 53,24	18 56,89	18,95	49	48 51,97	48,87
20	19 56 43,41	19 56,72	19,95	50	49 51,81	49,86
21	20 56 33,58	20 56,56	20,94	51	50 51,64	50,86
22	21 56 23,75	21 56,40	21,94	52	51 51,48	51,86
23	22 56 13,92	22 56,23	22,94	53	52 51,32	52,86
24	23 56 4,09	23 56,07	23,93	54	53 51,15	53,85
25		24 55,90	24,93	55	54 50,99	54,85
26		25 55,74	25,93	56	55 50,83	55,85
27		26 55,58	26,93	57	56 50,66	56,84
28		27 55,41	27,92	58	57 50,50	57,84
29		28 55,25	28,92	59	58 50,33	58,84
30		29 55,09	29,92	60	59 50,17	59,84

СХІД ТА ЗАХІД СОНЦЯ ДЛЯ ШИРОТ 50° (за місцевим часом)

Дата	Схід		Захід		Дата	Схід		Захід	
	год.	хв.	год.	хв.		год.	хв.	год.	хв.
0.1	7	59	16	07	3.VII	3	56	20	12
4	7	58	16	11	7	3	59	20	10
8	7	57	16	16	11	4	03	20	07
12	7	55	16	21	15	4	07	20	04
16	7	52	16	27	19	4	11	20	00
20	7	49	16	33	23	4	16	19	56
24	7	45	16	40	27	4	21	19	51
28	7	40	16	46	31	4	27	19	45
1.II	7	35	16	53	4.VIII	4	32	19	39
5	7	29	17	00	8	4	38	19	32
9	7	22	17	07	12	4	44	19	25
13	7	15	17	14	16	4	50	19	18
17	7	08	17	21	20	4	56	19	10
21	7	01	17	28	24	5	02	19	02
25	6	53	17	34	28	5	08	18	54
1.III	6	45	17	41	1.IX	5	14	18	45
5	6	37	17	48	5	5	20	18	37
9	6	28	17	54	9	5	26	18	28
13	6	20	18	01	13	5	32	18	20
17	6	11	18	07	17	5	38	18	11
21	6	02	18	13	21	5	44	18	02
25	5	54	18	20	25	5	50	17	53
29	5	45	18	26	29	5	56	17	44
2.IV	5	36	18	32	3.X	6	02	17	36
6	5	28	18	39	7	6	08	17	27
10	5	19	18	45	11	6	14	17	19
14	5	11	18	51	15	6	21	17	10
18	5	03	18	57	19	6	27	17	02
22	4	55	19	04	23	6	34	16	54
26	4	47	19	10	27	6	40	16	47
30	4	39	19	16	31	6	47	16	40
4.V	4	32	19	22	4.XI	6	54	16	33
8	4	26	19	28	8	7	00	16	27
12	4	19	19	34	12	7	07	16	21
16	4	14	19	40	16	7	13	16	16
20	4	08	19	45	20	7	20	16	11
24	4	04	19	50	24	7	26	16	07
28	4	00	19	55	28	7	32	16	04
1.VI	3	56	20	00	2.XII	7	37	16	01
5	3	54	20	04	6	7	42	15	59
9	3	52	20	07	10	7	47	15	58
13	3	51	20	10	14	7	51	15	58
17	3	50	20	12	18	7	54	15	59
21	3	50	20	13	22	7	56	16	01
25	3	51	29	13	26	7	58	16	03
29	3	53	20	13	30	7	59	16	06

ПОПРАВКИ ЧАСУ СХОДУ СОНЦЯ ДЛЯ РІЗНИХ ГЕОГРАФІЧНИХ ШИРОТ

Дата		Географічна широта, град.								
		44	45	46	47	48	49	50	51	52
Січень	0	-24 ^m	-20 ^m	-17 ^m	-13 ^m	-9 ^m	-4 ^m	0 ^m	+5 ^m	+10 ^m
	8	-23	-20	-16	-12	-8	-4	0	+4	+9
	16	-21	-18	-15	-12	-8	-4	0	+4	+8
	24	-19	-16	-14	-10	-7	-4	0	+4	+7
Лютий	1	-16	-14	-11	-9	-6	-3	0	+3	+6
	9	-13	-11	-9	-7	-5	-2	0	+3	+6
	17	-10	-9	-8	-6	-4	-2	0	+2	+4
	25	-8	-7	-6	-4	-3	-2	0	+2	+3
Березень	4	-5	-4	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2
	12	-2	-2	-2	-2	-1	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	+4	+3	+2	+2	+1	0	0	0	-1
Квітень	5	+6	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-3
	13	+9	+8	+6	+4	+3	+2	0	-2	-4
	21	+12	+10	+8	+6	+4	+2	0	-2	-5
	29	+14	+12	+10	+8	+6	+3	0	-3	-6
Травень	7	+17	+15	+12	+9	+6	+3	0	-3	-7
	15	+20	+17	+14	+11	+8	+4	0	-4	-8
	23	+22	+19	+15	+12	+8	+4	0	-4	-9
	31	+25	+21	+17	+13	+9	+4	0	-4	-9
Червень	8	+25	+22	+18	+14	+10	+5	0	-5	-10
	16	+26	+22	+18	+14	+10	+5	0	-6	-11
	24	+26	+22	+18	+14	+10	+5	0	-5	-11
Липень	3	+26	+22	+18	+14	+9	+5	0	-5	-10
	11	+24	+21	+17	+13	+8	+4	0	-5	-10
	19	+22	+19	+16	+12	+8	+4	0	-5	-9
	27	+20	+17	+14	+10	+7	+4	0	-4	-8
Серпень	4	+18	+15	+12	+9	+6	+3	0	-4	-7
	12	+16	+13	+10	+8	+5	+3	0	-3	-6
	20	+13	+10	+8	+6	+4	+2	0	-2	-5
	28	+10	+8	+6	+5	+3	+2	0	-2	-4
Вересень	5	+7	+6	+4	+4	+2	+1	0	-1	-2
	13	+4	+4	+3	+2	+2	+1	0	0	-1
	21	+1	+1	+1	+1	0	0	0	0	0
	29	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	+1
Жовтень	7	-5	-4	-3	-2	-2	-1	0	0	+1
	15	-7	-6	-5	-4	-2	-1	0	+2	+3
	23	-10	-8	-7	-5	-3	-2	0	+2	+4
	31	-12	-10	-9	-6	-4	-2	0	+3	+5
Листопад	8	-16	-13	-11	-8	-6	-3	0	+3	+6
	16	-18	-16	-13	-10	-7	-3	0	+4	+7
	24	-20	-18	-14	-11	-8	-4	0	+4	+8
Грудень	2	-22	-19	-16	-12	-8	-4	0	+4	+9
	10	-24	-20	-17	-13	-9	-5	0	+5	+9
	18	-24	-20	-17	-13	-9	-5	0	+5	+10
	26	-24	-20	-17	-13	-9	-5	0	+5	+10
	31	-24	-20	-16	-12	-8	-4	0	+50	+10

**АЗИМУТИ (В ГРАД.) ТОЧОК СХОДУ ТА ЗАХОДУ СОНЦЯ
(доторкання верхньої точки диска до горизонту)**

Дата		Географічна широта, град.			
		40°	45°	50°	55°
Січень	2	60	58	54	49
	12	62	59	56	51
	22	64	62	59	55
Лютий	1	68	66	63	60
	11	72	70	68	66
	21	76	75	74	72
Березень	2	81	81	80	79
	12	86	86	86	85
	22	92	92	92	92
Квітень	1	97	97	98	99
	11	102	103	104	106
	21	106	108	110	112
Травень	1	111	112	115	118
	11	114	117	120	124
	21	117	120	124	129
	31	120	123	127	132
Червень	10	122	125	129	135
	20	122	125	129	136
	30	122	125	129	136
Липень	10	121	124	128	133
	20	118	121	125	130
	30	116	118	121	126
Серпень	9	112	114	117	120
	19	108	109	112	115
	29	103	105	106	108
Вересень	8	98	99	100	101
	18	94	94	94	95
	28	88	88	88	88
Жовтень	8	83	83	82	81
	18	78	78	76	75
	28	74	73	71	69
Листопад	7	70	68	66	63
	17	66	64	61	57
	27	63	61	57	53
Грудень	7	61	58	55	50
	17	60	57	54	49
	27	60	57	54	49

Примітка: Відлік кутів (фактично азимут точки сходу – це 360° мінус кут, вказаний у таблиці), ведуть від точки півдня на схід і захід.

ПОЗІРНІ Й СПРАВЖНІ ВИСОТИ, ГРАД.

Позірні висоти		Справжні висоти	Позірні висоти		Справжні висоти
удень	уночі		удень	уночі	
13	10	5	60	50	35
25	18	10	67	60	45
31	26	15	74	68	55
42	33	20	79	74	65
49	39	25	84	81	75
55	45	30	88	87	85

СЕРЕДНЯ РЕФРАКЦІЯ
(при температурі повітря $t = 0^{\circ}\text{C}$ і атмосферному тиску 760 мм рт. ст.)

Висота над горизонтом	R_c	Висота над горизонтом	R_c	Висота над горизонтом	R_c	Висота над горизонтом	R_c
0°00'	36,6'	1°40'	20,9'	5°	10,2'	16°	3,4'
0 10	34,3	2 00	19,1	6	8,8	20	2,7
0 20	32,2	2 20	17,5	7	7,7	25	2,1
0 30	30,3	2 40	16,2	8	6,8	30	1,7
0 40	28,6	3 00	15,0	9	6,1	40	1,2
0 50	27,1	3 30	13,5	10	5,5	50	0,8
1 00	25,6	4 00	12,2	12	4,6	70	0,4
1 20	23,1	4 30	11,1	14	3,9	90	0,0

ДОВГОТИ І ШИРОТИ ДЕЯКИХ МІСТ УКРАЇНИ

Місто	Довгота		Широта	Місто	Довгота		Широта
Бердянськ	36°48′	2 ^h 27,2 ^m	46°45′	Ніжин	31°53′	2 ^h 07,6 ^m	51°02′
Вінниця	28 28	1 54,0	49 14	Новогод-Сіверський	33 17	2 13,1	52 00
Дніпропетровськ	35 02	2 20,0	48 28	Одеса	30 44	2 02,9	46 29
Донецьк	37 48	2 31,3	48 01	Полтава	34 33	2 18,3	49 35
Житомир	28 40	1 54,7	50 15	Рівне	26 15	1 44,5	50 37
Запоріжжя	35 08	2 20,5	47 50	Ромни	33 29	2 13,9	50 45
Івано-Франківськ	24 43	1 38,8	48 56	Севастополь	33 32	2 14,1	44 37
Ізмаїл	28 50	1 55,3	45 21	Сімферополь	34 06	2 16,4	44 57
Ізюм	37 15	2 29,0	49 13	Старобільськ	38 55	2 35,7	49 17
Кам'янець-Подільський	26 35	1 46,3	48 41	Суми	34 48	2 19,2	50 54
Київ	30 32	2 02,1	50 27	Тернопіль	25 36	1 42,4	49 33
Кіровоград	32 16	2 09,1	48 30	Ужгород	22 17	1 29,1	48 37
Ковель	24 43	1 38,9	51 13	Умань	30 13	2 00,9	48 45
Коростень	28 38	1 54,5	50 57	Феодосія	35 23	2 21,5	45 02
Кременчук	33 25	2 13,7	49 04	Харків	36 14	2 25,0	50 00
Луганськ	39 18	2 37,2	48 35	Херсон	32 37	2 10,5	46 38
Луцьк	25 19	1 41,3	50 45	Хмельницький	26 59	2 47,9	49 25
Львів	24 02	1 36,1	49 50	Черкаси	32 04	2 08,3	49 27
Мелітополь	35 22	2 21,5	46 50	Чернівці	25 56	1 43,7	48 18
Миколаїв	32 00	2 08,0	46 58	Чернігів	31 17	2 05,1	51 30
Мукачеве	22 42	1 31,2	48 26	Ялта	34 10	2 16,7	44 30

Зауваження. Великі міста мають значну протяжність. Так, Київ займає 20' за широтою, Донецьк – 2^m за довготою і т. д. Наведені у таблиці координати стосуються історичних центрів міст.

ДЕЯКІ АСТРОНОМІЧНІ ВЕЛИЧИНИ

Кількість секунд у тропічному році $31\,556\,925,9747 \approx 3,16 \cdot 10^7$.

1 світловий рік $9,460530 \cdot 10^{17}$ см.

1 парсек = $206\,264,806$ а. о. = $3,261\,633$ св. року = $3,085678 \cdot 10^{18}$ см.

Попередник Галактики $100\,000$ св. років $\approx 10^{23}$ см.

Відстань до галактики М31 у сузір'ї Андромеди $2\,300\,000$ св. років $\approx 2,18 \cdot 10^{24}$ см.

Стала Хаббла H , що входить у формулу $v = Hr$, де v – “швидкість руху галактики”, r – відстань до неї, $H = 60$ км/(с·Мпк).

Б. СОНЯЧНА СИСТЕМА

Таблиця 1-Б

ДАНІ ПРО ЗЕМЛЮ, МІСЯЦЬ І СОНЦЕ

Дані про Землю

Екваторіальний радіус $R_e = 6378,140$ км.

Полярний радіус $R_p = 6356,755$ км.

Середній радіус $R = 6371,004$ км.

Сплюснутість земного еліпсоїда $\alpha = \frac{R_e - R_p}{R_e} = 1/298,257$.

Поверхня Землі $S_3 = 509\,495\,365$ км², поверхня суші становить 29,2% усієї поверхні Землі, причому біля 10% її вкрито вічними снігами і льодом.

Маса Землі $m_3 = 5,973 \cdot 10^{24}$ кг, у т. ч. близько 0,024% становить вода в усіх її формах, маса атмосфери Землі $5,158 \cdot 10^{18}$ кг.

Середня густина Землі $5,574$ г/см³, земної кори – $2,80$ г/см³.

Критична швидкість (друга космічна) біля поверхні $11,2$ км/с.

Довжина 1° географічної довготи $(111,321 \cos \varphi - 0,094 \cos 3\varphi)$ км.

Довжина 1° географічної широти $(111,143 - 0,562 \cos 2\varphi)$ км.

Кутова швидкість обертання Землі $15,041''$ с⁻¹.

Лінійна швидкість точки екватора $465,119$ м/с.

Середня швидкість руху Землі по орбіті $29,765$ км/с $\approx 100\,000$ км/год.

Прискорення Землі до Сонця $0,59$ см/с².

Прискорення сили тяжіння на Землі (стандартне) $g_0 = 980,665$ см/с².

Доба = $24^h = 1440^m = 86400^s$.

Середній нахил екватора до екліптики $\epsilon = 23^\circ 27' 8,26'' - 0,4684''(t - 1900)$, де t – число року. Зокрема, на початок 2012 р. $\epsilon = 23^\circ 26' 15,8''$.

Дані про Сонце

Середня відстань від Землі до Сонця (астрономічна одиниця) = $23455,04 R_{\oplus} = 149\,597\,870$ км = $215,2$ радіуса Сонця.

Радіус Сонця $R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^8$ м = $696\,000$ км.

Найбільший видимий кутовий діаметр Сонця $32' 35,78''$ (Земля у перигелії).

Найменший видимий кутовий діаметр Сонця $31' 31,34''$ (Земля в афелії).

Маса Сонця $M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30} = 332946 m_{\oplus}$.

Середня густина Сонця $\rho_{\odot} = 1,408$ г/см³ = $0,255\rho_{\oplus}$.

Густина у центрі Сонця $\rho_c = 160$ г/см³.

Прискорення сили тяжіння на поверхні Сонця $g_{\odot} = 2,738 \cdot 10^4$ см/с² – у 27,9 разів більше, ніж на поверхні Землі.

Критична швидкість (друга космічна) на поверхні Сонця $617,7$ км/с.

Лінійна швидкість точки сонячного екватора $2,025$ км/с.

Синодичний період обертання точки екватора (відносно Землі, яка рухається) $27,275$ діб ($13,199^\circ$ за добу).

Сидеричний період обертання точки екватора $25,380$ доби ($14,184^\circ$ за добу).

Нахил екватора Сонця до екліптики $7^\circ 15' 00''$.

Середнє значення сонячної сталої на висоті 65 км $0,1388$ Вт/см².

Світність Сонця $L_{\odot} = 3,88 \cdot 10^{26}$ Вт.

Випромінювання 1 см^2 поверхні Сонця $6,41 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 50\,000$ кандел.
Освітленість від Сонця (поза атмосферою) $137\,000$ люкс = $548\,000$ повних Місяців у
зеніті.

Видима зоряна величина Сонця поза атмосферою $m_{\odot} = -26,85^m$, у зеніті $m_{\odot} = -26,58^m$.
Спектральний клас Сонця $G2V$.

Ефективна температура поверхні Сонця $T_{\text{эф.}} = 5807 \text{ К}$.

Абсолютна болометрична зоряна величина $M = 4,72^m$.

Швидкість руху Сонця відносно навколишніх зір $19,5 \text{ км/с}$ – у напрямі на сузір'я
Геркулеса.

Відстань Сонця від центра Галактики $\sim 10\,000 \text{ пк} \sim 30\,000$ св. років.

Відстань Сонця від площини Галактики 15 пк до півночі.

Швидкість руху Сонця навколо центра Галактики 250 км/с .

Період обертання Сонця навколо центра Галактики 200 млн. років.

Середня тривалість циклу сонячної активності $11,06$ року.

Тривалість тропічного року $365,24219879^d - 0,000\,000\,0614^d(t - 1900)$: за рахунок
сповільнення обертання Землі навколо своєї осі тривалість року зменшується на $0,53^s$ за сто
років.

Тривалість драконічного року (проміжку часу між двома послідовними
проходженнями Сонця через певний вузол місячної орбіти) $346,620\,031^d + 0,000\,000\,12^d(t - 1900)$.

Дані про Місяць

Середня відстань Місяця від Землі $384401 \text{ км} = 0,00257 \text{ а. о.} = 60,2682$ радіуса Землі
(ця відстань змінюється від 356400 до 406700 км).

Найбільший видимий кутовий діаметр Місяця $33'32''$.

Найменший видимий кутовий діаметр Місяця $29'20''$.

Діаметр Місяця $3476 \text{ км} = 0,2725$ екв. діаметра Землі $\approx 3/11$ земного.

Маса Місяця $m_{\text{м}} = 1/81,301$ маси Землі $= 0,12300\oplus = 1/27070500$ маси Сонця $= 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$.

Середня густина Місяця $3,341 \text{ г/см}^3 = 0,607$ середньої густини Землі.

Прискорення сили тяжіння на поверхні Місяця $1,622 \text{ м/с}^2 = 0,165$ земного $\approx 1/6$
земного.

Критична швидкість (друга космічна) $2,38 \text{ км/с}$.

Середній ексцентриситет орбіти Місяці $0,05490 \approx 1/18$.

Період обертання лінії апсид (лінії "апогей – перигей") $3232^d \approx 8,85$ тропічного року.

Температура у точці поверхні Місяця, де Сонце знаходиться в зеніті, $+130^{\circ}\text{C}$.

Температура поверхні Місяці опівночі -160°C .

Тривалість драконічного місяця (проміжку часу між двома послідовними
проходженнями Місяця через певний вузол), $27212220'$ доби $= 27^d 5^h 5^m 36^s$.

Середній нахил місячного екватора до орбіти $6^{\circ}40,7'$ (нахил змінюється від $6^{\circ}51'$ до
 $6^{\circ}31'$).

Нахил місячної орбіти до земного екватора змінюється від $18^{\circ}18'$ до $28^{\circ}36'$.

Середня видима кутова швидкість руху Місяця $13,15^{\circ}$ за добу, близько $0,53^{\circ}$ за
годину \approx діаметру Місяця за годину.

Середня швидкість руху Місяця на орбіті $1,023 \text{ км/с} \approx 3681 \text{ км/год}$.

Прискорення Місяця в його русі навколо Землі $0,272 \text{ см/с}^2$.

Сидеричний місяць, тобто період обертання Місяця навколо Землі відносно зір
 $27,321661^d = 27^d 7^h 43^m 11,47^s$.

Синодичний місяць $29,5305882^d = 29^d 12^h 44^m 2,78^s$ (внаслідок еліптичності орбіти
Місяця змінюється майже на 13^h – від $29,25^d$ до $29,83^d$).

Період обертання лінії вузлів $6798^d \approx 18,61$ тропічних років.

ПЛАНЕТИ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

А. Елементи орбіт планет Сонячної системи

Планета	Велика піввісь		Сидеричний період обертання, роки	Середня швидкість орбітального руху, км/с	Синодичний період обертання, доба	Ексцентриситет орбіти	Нахил орбіти до площини екліптики
	в а. о.	в млн км					
Меркурій	0,39	57,91	0,24	47,87	115,88	0,2056	7,00°
Венера	0,72	108,21	0,62	35,02	583,92	0,0068	3,39
Земля	1,00	149,60	1,00	29,79	—	0,0167	—
Марс	1,52	227,94	1,88	24,13	779,94	0,0934	1,85
Юпітер	5,20	778,34	11,86	13,06	398,88	0,0485	1,31
Сатурн	9,54	1427,0	29,46	9,65	378,09	0,0556	2,49
Уран	19,18	2869,6	84,01	6,80	369,66	0,0473	0,77
Нептун	30,06	4496,7	164,79	5,43	367,48	0,0086	1,77

Б. Фізичні характеристики планет Сонячної системи

Планета	Маса (без супутників), кг	Середній радіус		Середня густина, г/см ³	Період осевого обертання	Нахил екватора до площини орбіти
		км	$R_{\oplus} = 1$			
Меркурій	$3,30 \cdot 10^{23}$	2439	0,383	5,43	58,65 ^d	7°
Венера	$4,87 \cdot 10^{24}$	6052	0,950	5,24	243,16*	177,30
Земля	$5,97 \cdot 10^{24}$	6378	1,000	5,52	23 ^h 56 ^m	23,44
Марс	$6,42 \cdot 10^{23}$	3393	0,532	3,94	24 38	25,20
Юпітер	$1,90 \cdot 10^{27}$	71492	11,21	1,33	9 56	3,12
Сатурн	$5,69 \cdot 10^{26}$	60268	9,45	0,70	10 39	26,73
Уран	$8,66 \cdot 10^{25}$	25559	4,01	1,29	17 14*	97,92
Нептун	$1,03 \cdot 10^{26}$	24765	3,88	1,64	16 07	29,56

Примітка: *Планета обертається навколо своєї осі у протилежному напрямі.

Таблиця 3-Б

СУПУТНИКИ ПЛАНЕТ

№ п/п	Номер супутника або тимчасове позначення	Назва супутника	Велика піввісь, км	Сидеричний період обертання, доба	Діаметр або розміри, км	Блиск у середньому протистоянні	Рік відкриття
1	2	3	4	5	6	7	8
1	–	Місяць	Супутник Землі		3476	–12,7 ^m	
			384400	27,32			
			Супутники Марса				
1	I	Фобос	9400	0,319	28×22×18	+11,6	1877
2	II	Деймос	23500	1,262	16×12×10	+12,7	1877
			Супутники Юпітера				
1	XVI	Метіс	127690	0,295	60×40×34	+17,5	1979
2	XV	Адрастея	128690	0,298	20×16×14	+19,1	1979
3	V	Альмагея	181366	0,498	250×146×128	+14,1	1892
4	XIV	Теба	221889	0,675	116×98×84	+15,7	1979
5	I	Іо	421700	1,769	366×364×363	+5,0	1610
6	II	Європа	671034	3,551	3122	+5,3	1610
7	III	Ганімед	1070412	7,155	5262	+4,6	1610
8	IV	Калісто	1882709	16,689	4821	+5,7	1610
9	XVIII	Фемісто	7393216	129,87	8	+21,4	1975/2000
10	XIII	Леда	11187781	241,75	16	+20,2	1974
11	VI	Гімалія	11451971	250,37	170	+14,6	1904
12	X	Літія	11740560	259,89	36	+18,4	1938
13	VII	Елара	11778034	261,14	86	+16,3	1905
14	S/2000 J 11	–	12570424	287,93	4	+22,4	2001
15	XLVI	Карпо	17144873	458,62	3	+23,0	2003
16	S/2003 J 12	–	17739539	482,69*	1	+23,9	2003
17	XXIV	Евпоріе	19088434	538,78*	2	+23,1	2002
18	S/2003 J 3	–	19621780	561,52*	2	+23,4	2003

1	2	3	4	5	6	7	8
19	S/2003 J 18	–	19812577	569,73*	2	+23,4	2003
20	XLII	Тельскіное	20453753	597,61*	2	+23,5	2003
21	XXXIII	Еванге	20464854	598,09*	3	+22,8	2002
22	XLV	Геліке	20540266	601,40*	4	+22,6	2003
23	XXXV	Ортозе	20567971	602,62*	2	+23,1	2002
24	XXIV	Юкаге	20722566	609,43*	5	+21,8	2001
25	S/2003 J 16	–	20743779	610,36*	2	+23,3	2003
26	XXVII	Праксідіке	20823948	613,90*	7	+21,2	2001
27	XXII	Гарпаліке	21063814	624,54*	4	+22,2	2001
28	XL	Мнеме	21129786	627,48*	2	+23,3	2003
29	XXX	Герміппе	21182086	629,81*	4	+22,1	2002
30	XXIX	Тріоне	21405570	639,80*	4	+22,3	2002
31	XII	Ананке	21454952	642,02*	28	+18,9	1951
32	L	Герсе	22134306	672,75*	2	+23,4	2003
33	XXXI	Етне	22285161	679,64*	3	+22,7	2002
34	XXXVII	Кале	22409207	685,32*	2	+23,0	2002
35	XX	Тайгете	22438648	686,67*	5	+21,9	2001
36	S/2003 J 19	–	22709061	699,12*	2	+23,7	2003
37	XXI	Халлене	22713444	699,33*	4	+22,5	2001
38	S/2003 J 15	–	22720999	699,68*	2	+23,5	2003
39	S/2003 J 10	–	22730813	700,13*	2	+23,6	2003
40	S/2003 J 23	–	22739654	700,54*	2	+23,6	2004
41	XXV	Еріноме	22986266	711,96*	3	+22,8	2001
42	XLI	Айоле	23044175	714,66*	4	+22,5	2003
43	XLIV	Каліхоре	23111823	717,81*	2	+23,7	2003
44	XXIII	Каліке	23180773	721,02*	5	+21,8	2001
45	XI	Карме	23197992	721,82*	46	+18,0	1938
46	XVII	Каліроэ	23214986	722,62*	9	+20,7	2000
47	XXXII	Еврдоме	23230858	723,36*	3	+22,7	2002
48	XXXVIII	Пазіте	23307318	726,93*	2	+23,2	2002
49	XLIX	Коре	23345093	776,02*	2	+23,6	2003
50	XLVIII	Кіллене	23396269	731,10*	2	+23,2	2003

1	2	3	4	5	6	7	8
51	XLVII	Евкелад	23483694	735,20*	4	+22,6	2003
52	S/2003 J 4	–	23570790	739,29*	2	+23,0	2003
53	VIII	Пасифе	23609042	741,09*	60	+17,0	1908
54	XXXIX	Гегемоне	23702511	745,50*	3	+22,8	2003
55	XLIII	Архе	23717051	746,19*	3	+22,8	2002
56	XXVI	Исоное	23800647	750,13*	4	+22,5	2001
57	S/2003 J 9	–	23857808	752,84*	1	+23,7	2003
58	S/2003 J 5	–	23973926	758,34*	4	+22,4	2003
59	IX	Сінопе	24057865	762,33*	38	+18,3	1914
60	XXXVI	Спонде	24252627	771,60*	2	+23,0	2002
61	XXVIII	Автоное	24264445	772,17*	4	+22,0	2002
62	XIX	Мегакліте	24687239	792,44*	5	+21,7	2001
63	S/2003 J 2	–	30290846	981,55*	2	+23,2	2003
Супутники Сатурна							
1	S/2009 S 1	–	117000	–	0,3	+31,0	2009
2	XVIIII	Пан	133600	0,575	20	+12,4	1990
3	XXXV	Дафніс	136500	0,594	7	+24,0	2005
4	XV	Атлас	137700	0,602	32	+19,0	1980
5	XVI	Прометей	139400	0,613	100	+15,8	1980
6	XVII	Пандора	141700	0,629	84	+16,4	1980
7	XI	Епіметей	151400	0,690	119	+15,6	1980
8	X	Янус	151500	0,700	178	+14,4	1966
9	LIII	Егеон	167500	0,808	0,5	+30,0	2008
10	I	Мімас	185600	0,940	397	+12,8	1789
11	XXXII	Метона	194000	1,010	3	+25,0	2004
12	XLIX	Анфа	197700	1,037	2	+26,0	2007
13	XXXIII	Паллена	211000	1,140	4	+25,0	2004
14	II	Енцелад	238100	1,370	499	+11,8	1789
15	XIII	Телесто	294700	1,890	24	+18,5	1980
16	XIV	Каліпсо	294700	1,890	19	+18,7	1980
17	III	Тетія	294700	1,890	1060	+10,2	1684
18	IV	Діона	377400	2,740	1118	+10,4	1684

1	2	3	4	5	6	7	8
19	XII	Гелена	377400	2,740	32	+18,4	1980
20	XXXIV	Полдевк	377400	2,740	4	+25,0	2004
21	V	Рєя	527100	4,518	1528	+9,6	1672
22	VI	Тиган	1221900	15,95	5150	+8,4	1655
23	VII	Гіперон	1464100	21,28	266	+14,4	1848
24	VIII	Япет	3560800	79,33	1436	+11,0	1671
25	XXXIV	Ківюк	11111000	449,2	16	+22,2	2000
26	XXXII	Джйрак	11124000	451,4	12	+22,7	2000
27	IX	Фєба	12944000	548,2*	240	+16,4	1899
28	XX	Палак	15200000	686,9	22	+21,4	2000
29	XXVII	Скалі	15541000	728,2*	8	+23,7	2000
30	XXXVI	Альбюрікс	16182000	783,5	32	+20,9	2000
31	S/2007 S 2	–	16560000	800,0*	6	+24,4	2007
32	XXXVII	Бєфїлд	17119000	834,8	6	+24,1	2004
33	XXXVIII	Єрріло	17343000	871,2	10	+23,2	2000
34	XXXIX	Сїарнак	18195000	895,6	40	+20,1	2000
35	XLVII	Сколл	17665000	878,3*	6	+24,5	2006
36	LII	Таркек	17920000	895,0	7	+23,9	2007
37	XXI	Тарвос	18239000	926,1	15	+22,3	2000
38	LI	Грейп	18105000	905,0*	6	+24,4	2006
39	XLIV	Гїррокїн	18437000	932,0*	8	+23,5	2006
40	S/2004 S 13	–	18450000	906,0*	6	+24,5	2005
41	L	Ярнсакса	18600000	942,0*	6	+24,7	2006
42	S/2004 S 17	–	18600000	986,0*	4	+25,2	2005
43	XXV	Мунділфарї	18685000	952,6*	7	+24,0	2000
44	S/2006 S 1	–	18981000	970,0*	6	+24,6	2006
45	XXXI	Нарві	19007000	1004,0*	7	+23,8	2003
46	XXXVIII	Бєргєльмїр	19338000	1006,0*	6	+23,2	2004
47	XXIII	Суттунг	19459000	1017,0*	7	+23,8	2000
48	S/2004 S 12	–	19650000	1048,0*	5	+24,8	2005
49	S/2004 S 7	–	19800000	1103,0*	6	+24,5	2005
50	XLIII	Харї	19856000	1039,0*	6	+24,4	2004

1	2	3	4	5	6	7	8
51	XXIX	Бєгла	20129000	1084,0*	7	+23,8	2004
52	XL	Фарбауті	20390000	1086,0*	5	+24,7	2004
53	XXX	Трюм	20474000	1094,0*	7	+23,9	2000
54	S/2007 S 3	-	20518500	1100,0*	5	+24,9	2007
55	XXXVI	Егір	20735000	1116,5*	6	+24,4	2004
56	S/2006 S 3	-	21132000	1142,0*	6	+24,6	2006
57	XLV	Карі	22118000	1233,6*	7	+23,9	2006
58	XLI	Фенрір	22453000	1260,0*	4	+25,0	2004
59	XLVIII	Сурт	22707000	1297,7*	6	+24,8	2006
60	XIX	Імр	23130000	1315,3*	18	+21,8	2000
61	XLVI	Логі	23065000	1312,0*	6	+24,6	2006
62	XLII	Форньот	25108000	1490,9*	6	+24,6	2004
Супутники Урана							
1	Уран VI	Корделія	49751	0,335	42	+24,1	1986
2	Уран VII	Офелія	53764	0,376	46	+23,8	1986
3	Уран VIII	Біанка	59165	0,435	54	+23,0	1986
4	Уран IX	Крессїда	61766	0,463	82	+22,2	1986
5	Уран X	Дездемона	62658	0,474	68	+22,5	1986
6	Уран XI	Джульєтта	64360	0,493	106	+21,5	1986
7	Уран XII	Порція	66097	0,513	140	+21,0	1986
8	Уран XIII	Розалїнда	69927	0,558	72	+22,5	1986
9	Уран XXVII	Купїдон	74800	0,618	18	+26,0	2003
10	Уран XIV	Белїнда	75255	0,623	90	+22,1	1986
11	Уран XXV	Перїта	76420	0,638	30	+23,6	1986
12	Уран XV	Пак	86004	0,762	162	+20,3	1985
13	Уран XXVI	Маб	97734	0,923	25	+26,0	2003
14	Уран V	Мїранда	129390	1,413	472	+16,4	1948
15	Уран I	Арієль	191020	2,520	1158	+14,1	1851
16	Уран II	Умбрель	266300	4,144	1169	+14,8	1851
17	Уран III	Тїтанія	435910	8,706	1578	+13,8	1787
18	Уран IV	Оберон	583520	13,463	1523	+14,0	1787
19	Уран XXII	Францїско	4276000	267,12*	12	+25,0	2001

1	2	3	4	5	6	7	8
20	Уран XVI	Калібан	7231000	579,39*	98	+21,1	1997
21	Уран XX	Стефано	8004000	677,48*	20	+23,5	1999
22	Уран XXI	Трінкуло	8504000	748,83*	10	+25,4	2001
23	Уран XXVII	Сикоракса	12179000	1285,62*	190	+20,6	1997
24	Уран XXIII	Маргарита	14345000	1654,32	11	+25,2	2003
25	Уран XXVIII	Пресперо	16256000	1962,95*	30	+22,4	1999
26	Уран XIX	Сетібос	17418000	2196,35*	30	+22,5	1999
27	Уран XXIV	Фердінанд	20901000	2805,51*	12	+25,1	2001
Супутники Нептуна							
1	III	Найда	48227	0,294	96×60×52	+24,7	1989
2	IV	Таласса	50075	0,311	104×100×52	+23,8	1989
3	V	Деспіна	52526	0,335	180×148×128	+22,6	1989
4	VI	Галатея	61953	0,429	204×184×144	+22,3	1989
5	VII	Ларисса	73548	0,555	216×204×168	+22,0	1981
6	VIII	Протей	117647	1,122	440×416×404	+20,3	1989
7	I	Трігон	354800	5,877	2707	+13,5	1846
8	II	Нерейда	5513400	360,14	340	+18,7	1949
9	IX	Галімеда	15728000	1879,71*	48	+24,4	2002
10	XI	Sao	22422000	2914,0	44	+25,7	2002
11	XII	Лаомедея	23571000	3167,85	42	+25,3	2002
12	X	Псамафа	46695000	9115,9*	28	+25,5	2003
13	XIII	Несо	48387000	9374,0*	60	+24,6	2002

Примітки. Зірочкою позначено супутники, напрям руху яких навколо планети протилежний напрямку її добового обертання. У більшості випадків числа колонок 4, 5, 6 і 7 безперервно уточнюються.

КАРЛИКОВІ ПЛАНЕТИ

Характеристики	Планета				
	Церера	Плутон	Хаумеа	Макемаке	Еріда
Середня відстань від Сонця, а. о.	2,766	39,482	43,335	45,792	67,902
Середній радіус, км	471	1148,07	750	750	1200
Маса, кг	$9,5 \cdot 10^{20}$	$1,3 \cdot 10^{22}$	$4,2 \cdot 10^{21}$	$3 \cdot 10^{21}$	$1,7 \cdot 10^{22}$
Густина, г/см ³	2,08	2,0	2,6–3,3	2,0	>2,5
Прискорення сили тяжіння на екваторі, м/с ²	0,27	0,60	0,44	~0,4	~0,65
Друга космічна швидкість, км/с	0,51	1,24	0,44	~0,75	1,549
Період обертання, доба	0,3781	6,387*	0,167	0,0324	>0,33?
Орбітальний період, роки	4,599	248,0	285,4	309,9	557
Середня орбітальна швидкість, км/с	17,9	4,7	4,5	4,42	3,4
Ексцентриситет орбіти	0,080	0,2488	0,189	0,159	0,4362
Нахил орбіти, град.	10,585	17,14	28,19	28,96	44,023
Середня температура на поверхні, К	167	44	32±3	30	42,5
Максимальний блиск у протистоянні, <i>m</i>	6,7	13,65	17,5	16,7	18,7
Кількість відомих супутників	–	5	2	–	1

* – зворотне обертання.

ДЕЯКІ МАЛІ ТІЛА СОЛЯЧНОЇ СИСТЕМИ

Позначення	Назва	Велика піввісь орбіти, а. о.	Сидеричний період обертання, роки	Ексцентриситет	Нахил орбіти	Середні розміри, км
астероїди						
1566	Ікар	1,078	1,12	0,826	23°	≈ 1
433	Ерос	1,458	1,76	0,223	11	34×11×11
8	Флора	2,201	3,27	0,157	6	136
18	Мельпомена	2,296	3,48	0,219	10	141
4	Веста	2,361	3,63	0,089	7	530
7	Ірис	2,385	3,68	0,231	6	200
192	Навзікая	2,403	3,72	0,246	7	103
20	Массалія	2,411	3,74	0,142	0,7	146
6	Геба	2,426	3,78	0,202	15	185
15	Евномія	2,643	4,30	0,188	12	255
3	Юнона	2,672	4,37	0,256	13	234
324	Бамберга	2,685	4,40	0,337	11	230
2	Паллада	2,773	4,62	0,231	35	500×580×560
944	Гідальго	5,746	13,77	0,659	43	38
транснептунові об'єкти						
90482	Орк	39,17	245	0,227	21	≈ 900
28978	Іксіон	39,54	250	0,241	20	≈ 800
	2002 MS 4	41,90	272	0,141	18	≈ 700
	2005 RN 43	42,59	278	0,023	19	≈ 700
	2002 UX 25	42,81	280	0,141	19	≈ 700
	Варуна	43,13	281	0,051	17	≈ 1000
	Кварвар	43,41	286	0,036	8	≈ 900
	Седна	526,00	≈12000	0,855	12	≈ 1500

СОНЯЧНІ ЗАТЕМНЕННЯ З 2001 ПО 2040 РІК

Дата	Час	Вид	Регіон
21 червня 2001	12 ^h 05 ^m	п	Південна Атлантика, південна Африка
14 грудня 2001	20 53	к	Тихий океан, Центральна Америка
10 червня 2002	23 45	к	Тихий океан
4 грудня 2002	7 32	п	Південна Африка, Індійський океан, Австралія
31 травня 2003	4 09	к	Арктика (в Україні видно як часткове)
23 листопада 2003	22 50	п	Антарктика
19 квітня 2004	13 35	ч	(Південна Атлантика, південна Африка)
14 жовтня 2004	3 00	ч	(Північно-східна Азія, північ Тихого океану)
8 квітня 2005	20 37	г	Тихий океан
3 жовтня 2005	10 33	к	Африка (в Україні видно як часткове)
29 березня 2006	10 12	п	Африка, західна Азія (в Україні часткове)
22 вересня 2006	11 41	к	Південна Атлантика
19 березня 2007	2 33	ч	(Азія)
11 вересня 2007	12 32	ч	(Південна Америка)
7 лютого 2008	3 56	к	Антарктика
1 серпня 2008	10 22	п	Арктика, північна Азія (в Україні часткове)
26 січня 2009	8 00	к	Індійський океан
22 липня 2009	2 36	п	Східна Азія, Тихий океан
15 січня 2010	7 08	к	Індійський океан, Азія (в Україні часткове)
11 липня 2010	19 35	п	Південь Тихого океану, в тому числі о. Пасхи
4 січня 2011	8 52	ч	(Північна Африка, західна Азія, Європа, у тому числі Україна)
1 червня 2011	21 17	ч	(Східна Азія, Арктика)
1 липня 2011	8 40	ч	(Південь Індійського океану)
25 листопада 2011	6 20	ч	(Антарктика)
20 травня 2012	23 54	к	Північ Тихого океану
13 листопада 2012	22 13	п	Південь Тихого океану
10 травня 2013	0 26	к	Австралія, Тихий океан
3 листопада 2013	12 48	г	Атлантичний океан, Африка
29 квітня 2014	6 05	к	Антарктика
23 жовтня 2014	21 46	ч	(Північна Америка)
20 березня 2015	9 47	п	Арктика (в Україні видно як часткове)
13 вересня 2015	6 55	ч	Південь Індійського океану
9 березня 2016	1 57	п	Індонезія, Тихий океан
1 вересня 2016	9 08	к	Африка, Індійський океан
26 лютого 2017	14 54	к	Південна Америка, південь Атлантики
21 серпня 2017	18 26	п	Північна Америка, Атлантичний океан
15 лютого 2018	20 53	ч	(Антарктика)
13 липня 2018	3 02	ч	(на південь від Австралії)
11 серпня 2018	9 47	ч	(Арктика, Сибір)
6 січня 2019	1 43	ч	(Далекий Схід, північ Тихого океану)
2 липня 2019	19 24	п	Південь Тихого океану, Південна Америка
26 грудня 2019	5 18	к	Індія, Індонезія
21 червня 2020	6 41	к	Африка, Азія (часткове в Україні)

Дата	Час	Вид	Регіон
14 грудня 2020	16 15	п	Південь Тихого і Атлантичного океанів, Південна Америка
10 червня 2021	10 42	к	Арктика (часткове в Україні)
4 грудня 2021	7 33	п	Антарктика
30 квітня 2022	20 41	ч	(Північний схід Тихого океану)
25 жовтня 2022	11 00	ч	(Західна Азія, Європа, в т. ч. Україна)
20 квітня 2023	4 17	г	Індійський океан, Індонезія, захід Тихого океану
14 жовтня 2023	17 59	к	Америка
8 квітня 2024	18 17	п	Тихий океан, Північна Америка
2 жовтня 2024	18 45	к	Тихий океан
29 березня 2025	10 47	ч	(Північна Атлантика, Західна Європа, північний захід України)
21 вересня 2025	19 42	ч	(Південь Тихого океану)
17 лютого 2026	12 12	к	Антарктика
12 серпня 2026	17 46	п	Гренландія, Північна Атлантика
6 лютого 2027	15 59	к	Південна Америка та південні регіони Тихого і Атлантичного океанів
2 серпня 2027	10 06	п	Північна Африка, Індійський океан (в Україні часткове)
26 січня 2028	15 08	к	Південна Америка, Атлантичний океан
22 липня 2028	2 55	п	Індійський океан, Австралія
14 січня 2029	17 12	ч	(Північна Америка)
12 червня 2029	4 05	ч	(Арктика, Східна Європа, в т. ч. Україна)
11 липня 2029	15 36	ч	(Протока Дрейка)
5 грудня 2029	15 03	ч	(Антарктичний регіон)
1 червня 2030	6 28	к	Південна Європа, Азія. В Україні смуга пройде через Крим та крайній південь Запорізької, Донецької і Луганської областей
25 листопада 2030	6 50	п	Південь Африки та Індійського океану, південний схід Австралії
21 травня 2031	7 15	к	Південь Африки, Індійський океан, Індонезія
14 листопада 2031	21 06	г	Тихий океан
9 травня 2032	13 25	к	Південна Атлантика
3 листопада 2032	5 33	ч	(Азія)
30 березня 2033	18 01	п	Арктика (Північна Америка)
23 вересня 2033	13 53	ч	(Південь Південної Америки, Антарктика)
20 березня 2034	10 17	п	Африка, Південно-західна Азія (як часткове видно в Україні)
12 вересня 2034	16 18	к	Тихий океан, Південна Америка
9 березня 2035	23 04	к	Південь Тихого океану
2 вересня 2035	1 55	п	Східна Азія, Тихий океан
27 лютого 2036	4 45	ч	(Південь Тихого океану, Антарктика)
23 липня 2036	10 31	ч	(Південь Атлантичного океану)
21 серпня 2036	17 24	ч	(Арктика, Північна Атлантика)
16 січня 2037	9 47	ч	(Європа, в т. ч. Україна)
13 липня 2037	2 39	п	Австралія, Нова Зеландія
5 січня 2038	13 46	к	Атлантичний океан, Африка
2 липня 2038	13 31	к	Атлантичний океан, Африка
26 грудня 2038	0 59	п	Австралія, Тихий океан
21 червня 2039	17 11	к	Арктика, Скандинавія

Дата	Час	Вид	Region
15 грудня 2039	16 22	п	Антарктика
11 травня 2040	3 41	ч	(Південний схід Австралії, узбережжя Антарктиди)
4 листопада 2040	19 07	ч	(Північна Америка)

Примітка. У другій колонці – момент середини затемнення за всесвітнім часом T_0 (київський зимовий час = T_0+2^h , літній = T_0+3^h). У колонці «Вид»: п – повне, к – кільцеподібне, г – гібридне, ч – часткове (тобто ніде на Землі не спостерігається у попередніх видах). В останній колонці вказується, де проходить смуга повного, кільцеподібного або гібридного затемнення, та/або (в дужках) території часткового затемнення; вказується також видимість в Україні.

Таблиця 7-Б

ТІНЬОВІ МІСЯЧНІ ЗАТЕМНЕННЯ З 2001 ПО 2040 РІК

Дата	Час	Вид	Види- мість	Дата	Час	Вид	Види- мість
1	2	3	4	5	6	7	8
9 січня 2001	21 ^h 21 ^m	п	+	19 листопада 2021	9 ^h 04 ^m	ч	–
5 липня 2001	14 56	ч	–	16 травня 2022	4 12	п	–
16 травня 2003	3 41	п	(+)	8 листопада 2022	11 00	п	–
9 листопада 2003	1 20	п	+	28 жовтня 2023	20 15	ч	+
4 травня 2004	20 31	п	+	18 вересня 2024	2 45	ч	(+)
28 жовтня 2004	3 05	п	(+)	14 березня 2025	7 00	п	–
17 жовтня 2005	12 04	ч	–	7 вересня 2025	18 13	п	+
7 вересня 2006	18 52	ч	+	3 березня 2026	11 35	п	–
3 березня 2007	23 22	п	+	28 серпня 2026	4 14	ч	(+)
28 серпня 2007	10 38	п	–	12 січня 2028	4 14	ч	+
21 лютого 2008	3 27	п	+	6 липня 2028	18 21	ч	(+)
16 серпня 2008	21 11	ч	+	31 грудня 2028	16 53	п	+
31 грудня 2009	19 24	ч	+	26 червня 2029	3 23	п	–
26 червня 2010	11 40	ч	–	20 грудня 2029	22 43	п	+
21 грудня 2010	8 18	п	–	15 червня 2030	18 35	ч	(+)
15 червня 2011	20 14	п	+	25 квітня 2032	15 15	п	–
10 грудня 2011	14 33	п	(+)	18 жовтня 2032	19 03	п	+
4 червня 2012	11 04	ч	–	14 квітня 2033	19 14	п	+
25 квітня 2013	20 09	ч	+	8 жовтня 2033	10 56	п	–
15 квітня 2014	7 47	п	–	28 вересня 2034	2 48	ч	(+)
8 жовтня 2014	10 56	п	–	19 серпня 2035	1 12	ч	+
4 квітня 2015	12 01	п	–	11 лютого 2036	22 13	п	+
28 вересня 2015	2 48	п	(+)	7 серпня 2036	2 53	п	(+)
7 серпня 2017	18 22	ч	(+)	31 січня 2037	14 02	п	(+)
31 січня 2017	13 31	п	(+)	27 липня 2037	4 10	ч	–
27 липня 2018	20 23	п	(+)	6 червня 2039	18 54	ч	(+)
21 січня 2019	5 13	п	(+)	30 листопада 2039	16 56	ч	+
16 липня 2019	21 32	ч	+	26 травня 2040	11 46	п	–
26 травня 2021	11 20	п	–	18 листопада 2040	19 05	п	+

Примітка. У другій та шостій колонках всесвітній час T_0 середини повного затемнення або час максимальної фази часткового (київський зимовий час = T_0+2^h , літній = T_0+3^h). У третій та сьомій колонках: п – повне, ч – часткове затемнення. У четвертій та восьмій «+» означає, що в Україні всі фази тінювого затемнення спостерігаються; «(+)-» означає несприятливі умови: початок затемнення незадовго до заходу Місяця або кінець затемнення невдовзі після сходу Місяця; «-» означає, що затемнення в Україні не видно.

А. ПЕРЕЛІК ДЕТАЛЕЙ НА ПОВЕРХНІ МІСЯЦЯ

№ на карті	Українська назва	Міжнародна назва	№ на карті	Українська назва	Міжнародна назва
кратери та цирки					
1	Гаусс	Gauss	45	Борда	Borda
2	Ган	Hahn	46	Рейхенбах	Reichenbach
3	Альхазен	Alhazen	47	Неандер	Neander
4	Ганзен	Hansen	48	Рейта	Rheita
5	Кондорсе	Condorcet	49	Метій	Metius
6	Кестнер	Kästner	50	Фабріцій	Fabricius
7	Лаперуз	Lapeyrouse	51	Жансен	Janssen
8	Меркурій	Mercurius	52	Ватт	Watt
9	Мессала	Messala	53	Розенбергер	Rosenberger
10	Бернуллі	Bernoulli	54	Хагедцій	Hagedicius
11	Бероз	Berosus	55	Арнольд	Arnold
12	Фірмак	Firmicus	56	Демокріт	Democritus
13	Аполлоній	Apollonius	57	Геркулес	Hercules
14	Лангрен	Langrenus	58	Мейсон	Mason
15	Лозе	Lohse	59	Гровс	Groves
16	Венделін	Vendelinus	60	Даніель	Daniell
17	Гольден	Holden	61	Шакорнак	Chacornac
18	Петавій	Petavius	62	Ремер	Römer
19	Адамс	Adams	63	Вітрувій	Vitruvius
20	Фурнерій	Furnerius	64	Капелла	Capella
21	Ендиміон	Endymion	65	Ісідор	Isidorus
22	Гемін	Geminus	66	Боненбергер	Bohnenberger
23	Буркхардт	Burckhardt	67	Фракастор	Fracastor
24	Тралль	Tralles	68	Пікколоміні	Piccolomini
25	Клеомед	Cleomedes	69	Стіборій	Stiborius
26	Пікар	Picard	70	Бреннер	Brenner
27	Крозьє	Crozier	71	Пітиск	Pitiscus
28	Вротслі	Wrottesley	72	Влакк	Vlacq
29	Снеллій	Snellius	73	Мут	Mutus
30	Стевін	Stevinus	74	Бюрг	Bürg
31	Фраунгофер	Fraunhofer	75	Плана	Plana
32	Бісла	Biela	76	Посідоній	Posidonius
33	Буссінью	Boussignault	77	Доус	Dawes
34	Атлас	Atlas	78	Пліній	Plinius
35	Цефей	Cepheus	79	Росс	Ross
36	Франклін	Franklin	80	Араго	Arago
37	Макробій	Macrobius	81	Маскелайн	Maskelyne
38	Тіссеран	Tisserand	82	Сабін	Sabine
39	Прокл	Proclus	83	Торрічеллі	Torricelli
40	Тарунцій	Taruntius	84	Теофіл	Theophilus
41	Гутенберг	Gutenberg	85	Кант	Kant
42	Гокленій	Goclenius	86	Медлер	Mädler
43	Колумб	Colombo	87	Кирил	Cyrellus
44	Сантбек	Santbech	88	Катерина	Catharina

№ на карті	Українська назва	Міжнародна назва	№ на карті	Українська назва	Міжнародна назва
89	Полібій	Polybius	137	Горрокс	Horrocks
90	Цагуг	Zagut	138	Гіппарх	Hipparchus
91	Цельсій	Celsius	139	Галлей	Halley
92	Раббі Леві	Rabbi Levi	140	Альбатегній	Albategnius
93	Річчі	Riccus	141	Клейн	Klein
94	Ніколаї	Nicolai	142	Паррот	Parrot
95	Манзін	Manzinus	143	Аргеландер	Argelander
96	Скорсбі	Scoresby	144	Ері	Airy
97	Барроу	Barrow	145	Лакайль	Lacaille
98	Хр. Майєр	Mayer Chr.	146	Плейфер	Playfair
99	Аристотель	Aristoteles	147	Бланкін	Blanchinus
100	Евдокс	Eudoxus	148	Апіан	Apianus
101	Каліпп	Calippus	149	Вернер	Werner
102	Бессель	Bessel	150	Аліацензіс	Aliacensis
103	Менелай	Menelaus	151	Вальтер	Walter
104	Бошкович	Bošcovich	152	Ноніус	Nonius
105	Юлій Цезар	Julius Caesar	153	Кайзер	Kaiser
106	Агріппа	Agrippa	154	Штефлер	Stöfler
107	Діонісій	Dionysius	155	Ліцет	Licetus
108	Годен	Godin	156	Кюв'є	Cuvier
109	Деламбр	Delambre	157	Якобі	Jacobi
110	Тейлор	Taylor	158	Цах	Zach
111	Альфраган	Alfraganus	159	Курцій	Curtius
112	Абульфєда	Abulfeda	160	Гольдшмідт	Goldschmidt
113	Тацит	Tacitus	161	Епіген	Epigenes
114	Альманун	Almanon	162	Тімей	Timaeus
115	Гебер	Geber	163	Платон	Plato
116	Абенезра	Abenezra	164	Архімед	Archimedes
117	Азофі	Azophi	165	Бодє	Bode
118	Сакробоско	Sacrobosco	166	Паллас	Pallas
119	Понтан	Pontanus	167	Мурчісон	Murchison
120	Гудейкр	Goodacre	168	Местінг	Mösting
121	Гемма Фрізії	Gemma Frisius	169	Лаланд	Lalande
122	Мавролік	Maurolycus	170	В. Гершель	W. Herschel
123	Бароцій	Barocius	171	Птолемей	Ptolemaeus
124	Клеро	Clairaut	172	Деві	Davy
125	Бекон	Baco	173	Альфонс	Alphonsus
126	Архіт	Archytas	174	Лассєлл	Lassell
127	Протагор	Protagoras	175	Альпетрагій	Alpetragius
128	Кассіні	Cassini J. D.	176	Арзахєль	Arzachel
129	Теєтєт	Theaetetus	177	Табіт	Thebit
130	Аристїлл	Aristillus	178	Бірт	Birt
131	Автолік	Autolicus	179	Пурбах	Purbach
132	Конон	Conon	180	Рєгіомонтан	Regiomontanus
133	Манїлій	Manilius	181	Дєландр	Deslandres
134	Укєрт	Ukert	182	Оронцій	Orontius
135	Триснєкєр	Triesnecker	183	Насірєддін ат-Тусї	Nasireddin
136	Рєтїк	Rhaeticus	184	Соссєр	Saussure

№ на карті	Українська назва	Міжнародна назва	№ на карті	Українська назва	Міжнародна назва
185	Магін	Maginus	233	Діофант	Diophantus
186	Цізат	Cysatus	234	Кеплер	Kepler
187	Морет	Moretus	235	Енке	Encke
188	Анаксагор	Anaxagoras	236	Агатархід	Agatharchides
189	Фонтенель	Fontenelle	237	Вітелло	Vitello
190	Тимохаріс	Timocharis	238	Рамсен	Ramsden
191	Ерастофен	Eratosthenes	239	Гайнцель	Hainzel
192	Коперник	Copernicus	240	Шіллер	Schiller
193	Гамбар	Gambart	241	Анаксімен	Anaximenes
194	Фра Мауро	Fra Mauro	242	Дж. Гершель	Herschel J.
195	Паррі	Parry	243	Гарпал	Harpalus
196	Бонплан	Bonpland	244	Фуко	Foucault
197	Геріке	Guericke	245	Шарп	Sharp
198	Ніколле	Nicollet	246	Майран	Mairan
199	Пітат	Pitatus	247	Аристарх	Aristarchus
200	Гесіод	Hesiodus	248	Геродот	Herodotus
201	Вурцельбауер	Wulzelbauer	249	Флемстід	Flamsteed
202	Гаурік	Gauricus	250	Летронн	Letronne
203	Тихо	Tycho	251	Гассенді	Gassendi
204	Клавій	Clavius	252	Мерсенн	Mersenius
205	Бланкан	Blancanus	253	Беттін	Bettinus
206	Кондамін	Condamine	254	Кірхер	Kircher
207	Мопертюї	Maupertuis	255	Анаксимандр	Anaximander
208	Гелікон	Helicon	256	Баббідж	Babbage
209	Левеґе	Leverrier	257	Скіапареллі	Schiaparelli
210	Ламберт	Lambert	258	Марій	Marius
211	Ейлер	Euler	259	Рейнер	Reiner
212	Пітеас	Pytheas	260	Дамуазо	Damoiseau
213	Т. Майєр	Mayer Tob.	261	Ганстін	Hansteen
214	Гей-Люссак	Gay-Lussac	262	Білі	Billy
215	Гортензій	Hortensius	263	Брати Анрі	Henry Frères
216	Рейнгольд	Reinhold	264	Віста	Vieta
217	Ландсберг	Landsberg	265	Фур'є	Fourier
218	Булліальд	Bullialdus	266	Шиккард	Schickard
219	Кеніг	König	267	Варгентін	Wargentin
220	Кампан	Campanus	268	Фоклід	Fhocyrides
221	Меркатор	Mercator	269	Цуккі	Zuchius
222	Капуан	Capuanus	270	Марков	Markov
223	Цих	Cichus	271	Ліхтенберг	Lichtenberg
224	Вільгельм	Wilhelm	272	Брігґс	Briggs
225	Лагалла	Lagalle	273	Селевк	Seleucus
226	Лонгомонтан	Longomontanus	274	Кавальєрі	Cavalierius
227	Шейнер	Scheiner	275	Гевелій	Hevelius
228	Клапрог	Klaproth	276	Лорман	Lohrmann
229	Філолай	Philolaus	277	Грімальді	Grimaldi
230	Бугер	Bouguer	278	Сірсалій	Sirsalis
231	Біанкіні	Bianchini	279	Крюгер	Krüger
232	Деліль	Delisle	280	Біргій	Byrgius

№ на карті	Українська назва	Міжнародна назва	№ на карті	Українська назва	Міжнародна назва
281	Інгірамі	Inghirami	284	Річчіолі	Riccioli
282	Крафт	Krafft	285	Дарвін	Darwin
283	Кардан	Cardanus	286	Ольберс	Olbers
інші об'єкти					
a	гори Лейбніца	Montes Leibnitz	n	гори Альпи з Альпійською долиною	Montes Alpes & Vallis Alpine
b	Море Південне	Mare Australe	p'	Море Пари	Mare Vaporum
c	Море Криз	Mare Crisium	p	Гори Апенніни	Montes Apennines
d	Море Родючості	Mare Foecundidatis	q	Затока Центральна	Sinus Medii
e	Море Спокою	Mare Tranquillitatis	r	Затока Спекі	Sinus Aestuum
f	Море Нектару	Mare Nectaris	s	Пряма Стіна	Murus Rectus
g	Озеро Сновидінь	Lacus Somnorum	t	Море Дощів	Mare Imbrium
h	Озеро Смерті	Lacus Mortis	u	Море Хмар	Mare Nubium
i	гори Алтай	Montes Altai	v	Гори Карпати	Montes Carpathians
j	Море Ясності	Mare Serenitatis	w	Затока Веселки	Sinus Iridium
k	гори Гемус (Балкани)	Montes Haemus	x	Океан Бур	Oceanus Procellarum
l	Море Холоду	Mare Frigoris	y	Море Вологості	Mare Humorum
m	гори Кавказ	Montes Caucasus	z	Затока Роси	Sinus Roris

Б. ПЕРЕЛІК КРАТЕРІВ НА ПОВЕРХНІ МІСЯЦЯ В АЛФАВІТНОМУ ПОРЯДКУ

Українська назва	№ на карті	Українська назва	№ на карті	Українська назва	№ на карті
1	2	3	4	5	6
Абенефра	116	Борда	45	Горрокс	137
Абульфедя	112	Бошкович	104	Гортензій	215
Автолік	131	Брати Анрі	263	Грімальді	277
Агархід	236	Бреннер	70	Гровс	59
Агіппа	106	Бріггс	272	Гудейкр	120
Адамс	19	Бугер	230	Гутенберг	41
Азофі	117	Буллальд	218	Дамуазо	260
Аліацензіс	150	Буркхардт	23	Даніель	60
Альбатегній	140	Буссінью	33	Дарвін	285
Альманун	114	Бюрж	74	Деві	172
Альпетрагій	175	В. Гершель	170	Деламбр	109
Альфонс	173	Вальтер	151	Деландр	181
Альфраган	111	Варгентін	267	Деліль	232
Альхазен	3	Ватт	52	Демокріт	56
Анаксагор	188	Венделін	16	Дж. Гершель	242
Анаксимандр	255	Вернер	149	Діонісій	107
Анаксімен	241	Віста	264	Діофант	233
Апіан	148	Вільгельм	224	Доус	77
Аполлоній	13	Вітелло	237	Евдокс	100
Араго	80	Вітрувій	63	Ейлер	211
Аргеландер	143	Влакк	72	Ендиміон	21
Арзахель	176	Вурцельбауер	201	Енке	235
Аристарх	247	Гайнцель	239	Епіген	161
Аристілл	130	Галлей	139	Ерастофен	191
Аристотель	99	Гамбар	193	Ері	144
Арнольд	55	Ган	2	Жансен	51
Архімед	164	Ганзен	4	Інгірамі	281
Архіг	126	Ганстін	261	Ісідор	65
Атлас	34	Гарпал	243	Кавальєрі	274
Бароцій	123	Гассенді	251	Кайзер	153
Барроу	97	Гаурік	202	Каліпп	101
Бєббідж	256	Гаусс	1	Кампан	220
Бєкон	125	Гебер	115	Кант	85
Бєрнуллі	10	Гєвелій	275	Капелла	64
Бєроз	11	Гєй-Люссак	214	Капуан	222
Бєссель	102	Гєлікон	208	Кардан	283
Бєттін	253	Гємін	22	Кассіні	128
Біанкіні	231	Гємма Фрізій	121	Катєрина	88
Бієла	32	Гєріке	197	Кєніг	219
Бійї	262	Гєркулєс	57	Кєплєр	234
Біргій	280	Гєродот	248	Кєстнер	6
Бірт	178	Гєсіод	200	Кірил	87
Біланкан	205	Гіппарх	138	Кірхєр	254
Біланкін	147	Годєн	108	Клавій	204
Бодє	165	Гокленій	42	Клапрот	228
Бонєнбергер	66	Гольдєн	17	Клєйн	141
Бонплан	196	Гольдшмідт	160	Клєомєд	25

1	2	3	4	5	6
Клеро	124	Неандер	47	Стевін	30
Колумб	43	Ніколаї	94	Стіборій	69
Кондамін	206	Ніколле	198	Т. Майєр	213
Кондорсе	5	Ноніус	152	Табіт	177
Конон	132	Ольберс	286	Тарунцій	40
Коперник	192	Оронцій	182	Тацит	113
Крафт	282	Паллас	166	Тетет	129
Крозьє	27	Паррі	195	Тейлор	110
Крюгер	279	Паррот	142	Теофіл	84
Курцій	159	Петавій	18	Тимохаріс	190
Кюв'є	156	Пікар	26	Тихо	203
Лагалла	225	Пікколоміні	68	Тімей	162
Лакайль	145	Пітаг	199	Тіссеран	38
Лаланд	169	Пітеас	212	Торрічеллі	83
Ламберт	210	Пітиск	71	Тралль	24
Лангрен	14	Плана	75	Триснеккер	135
Ландсберг	217	Плагон	163	Укерт	134
Лаперуз	7	Плейфер	146	Фабріцій	50
Ласселл	174	Пліній	78	Філолай	229
Левер'є	209	Полібій	89	Фірмік	12
Летронн	250	Понтан	119	Флемстід	249
Ліхтенберг	271	Посідоній	76	Фокілід	268
Ліцет	155	Прокл	39	Фонтенель	189
Лозе	15	Протагор	127	Фра Мауро	194
Лонгомонтан	226	Птолемей	171	Фракастор	67
Лорман	276	Пурбах	179	Франклін	36
Мавролік	122	Раббі Леві	92	Фраунгофер	31
Магін	185	Рамсден	238	Фуко	244
Майран	246	Регіомонтан	180	Фур'є	265
Макробій	37	Рейнгольд	216	Фурнерій	20
Манзін	95	Рейнер	259	Хагецій	54
Манілій	133	Рейта	48	Хр. Майєр	98
Марій	258	Рейхенбах	46	Цагут	90
Марков	270	Ремер	62	Цах	158
Маскалайн	81	Ретік	136	Цельсій	91
Медлер	86	Річчі	93	Цефей	35
Мейсон	58	Річчіолі	284	Цихх	223
Менелай	103	Розенбергер	53	Цізаг	186
Меркагор	221	Росс	79	Цуккі	269
Меркурій	8	Ротслі	28	Шакорнак	61
Мерсенн	252	Сабін	82	Шарп	245
Мессала	9	Сакробоско	118	Шейнер	227
Местінг	168	Сантбек	44	Шиккард	266
Менцій	49	Селевк	273	Шіллер	240
Мопертюї	207	Сірсалій	278	Штефлер	154
Морет	187	Скіапареллі	257	Юлій Цезар	105
Мурчісон	167	Скорсі	96	Якобі	157
Мут	73	Снеллій	29		
Насіреддін ат-Тусі	183	Соссюр	184		

ПАРАМЕТРИ ОРБИТ ШТУЧНИХ СУПУТНИКІВ ЗЕМЛІ

T , хв.	H , км	v_k , км/с	ψ , °	n	Δt , хв.	Δl , °
88	173	7,83	22,1	16,34	-32	-7,0
89	220	7,80	22,3	16,14	-16	-3,0
90	271	7,77	22,6	15,96	0	+1,0
91	320	7,74	22,8	15,78	+16	+5,0
92	368	7,71	23,1	15,61	+32	+9,0
93	417	7,68	23,3	15,45	-45	-10,3
94	466	7,65	23,6	15,28	-30	-6,5
95	514	7,62	23,8	15,12	-15	-2,7
96	562	7,59	24,1	14,96	0	+1,0
97	611	7,56	24,3	14,80	+15	+4,7
98	659	7,53	24,6	14,65	+30	+8,5
99	707	7,50	24,8	14,51	+45	+12,2
100	754	7,48	25,1	14,36	-40	-9,0
102	849	7,43	25,6	14,08	-12	-2,0
104	943	7,38	26,1	13,81	+16	+5,0
106	1036	7,33	26,6	13,55	+44	+12,0
108	1129	7,29	27,1	13,30	-36	-8,0
110	1221	7,24	27,6	13,06	-10	-1,5
112	1308	7,20	28,1	12,82	+16	+5,0
114	1404	7,16	28,6	12,60	+42	+11,5
116	1495	7,12	29,1	12,38	+48	-11,0
118	1584	7,08	29,6	12,17	-24	-5,0
120	1674	7,04	30,1	11,97	0	+1,0

Примітка. T – період обертання ШСЗ; H – середня висота; v_k – колова швидкість ШСЗ; ψ – кут повороту Землі за один оберт ШСЗ; n – кількість обертів ШСЗ за зоряну добу; Δt – різниця моментів часу між сприятливими для спостережень проходженнями ШСЗ на наступну добу; Δl – зміщення траєкторії ШСЗ за добу без урахування обертання площини орбіти супутника.

Таблиця 10-Б

ЗНАЧЕННЯ ВИСОТИ ШСЗ У НАПРЯМІ МЕРИДІАНА h_M ТА НАЙКОРОТШОЇ ВІДСТАНІ h_K ПРИ $i = 65^\circ$ ЗАЛЕЖНО ВІД КУТОВОЇ ВІДСТАНІ I ПІДСУПУТНИКОВОЇ ТОЧКИ ВІД СПОСТЕРІГАЧА

I , °	$H = 200$ км		$H = 250$ км		$H = 300$ км	
	h_K , °	h_M , °	h_K , °	h_M , °	h_K , °	h_M , °
1	74	65	77	70	79	73
2	60	48	66	53	69	59
3	50	36	56	42	61	48
4	41	28	48	34	53	39
5	35	23	41	28	47	33
6	30	20	36	24	42	28
7	27	17	32	22	37	25
8	24	15	29	19	34	22
9	21	14	27	17	31	20
10	19	12	24	16	28	18

ВІДСТАНІ ВІД ЗЕМЛІ, ВИДИМІ КУТОВІ РОЗМІРИ І ЗОРЯНІ ВЕЛИЧИНИ ПЛАНЕТ

Планети	Відстань від Землі, а. о.		Кутовий екваторіальний діаметр		Блиск (у зоряних величинах)	
	найбільша	найменша	найбільший	найменший	найбільший	найменший
Меркурій	1,47	0,53	12,5"	4,5"	-1,7	+2,9
Венера	1,73	0,27	62,0	9,5	-4,7	-3,1
Марс	2,61	0,38	25,0	3,5	-2,9	+2,0
Юпітер	6,45	3,95	49,6	30,1	-2,9	-1,5
Сатурн	11,07	8,00	20,5	14,8	-0,3	+1,1
Уран	21,07	17,29	4,0	3,3	+5,7	+6,3
Нептун	31,31	28,80	2,4	2,1	+7,7	+8,0

ДЕЯКІ КОНФІГУРАЦІЇ СУСІДНІХ ПЛАНЕТ**А. Нижні сполучення Венери з Сонцем з 2001 р. по 2039 р.**

31 березня 2001	6 червня 2012**	9 січня 2022	11 серпня 2031
31 жовтня 2002	11 січня 2014	13 серпня 2023	20 березня 2033
8 червня 2004*	15 серпня 2015	23 березня 2025	21 жовтня 2034
14 січня 2006	25 березня 2017	24 жовтня 2026	30 травня 2036
18 серпня 2007	26 жовтня 2018	1 червня 2028	4 січня 2038
27 березня 2009	3 червня 2020	6 січня 2030	8 серпня 2039
29 жовтня 2010			

Примітки. * – проходження по диску Сонця, середина проходження – 8^h20^m за всесвітнім часом; ** – проходження по диску Сонця, середина проходження у 1^h30^m , кінець – у 4^h40^m за всесвітнім часом, тобто в Україні Сонце зійшло під час проходження, котре тривало ще дві з половиною години.

Б. Протистояння Марса з 2001 по 2037 рр.

Протистояння, дата	Найменша відстань від Землі		
	Дата	а. о.	млн км
13 червня 2001	21 червня 2001	0,450	67,3
28 серпня 2003	27 серпня 2003	0,373	55,8
7 листопада 2005	30 жовтня 2005	0,464	69,4
24 грудня 2007	18 грудня 2007	0,589	88,1
29 січня 2010	27 січня 2010	0,664	99,3
3 березня 2012	5 березня 2012	0,674	100,8
8 квітня 2014	14 квітня 2014	0,618	92,5
22 травня 2016	30 травня 2016	0,503	75,2
27 липня 2018	31 липня 2018	0,385	57,6
13 жовтня 2020	6 жовтня 2020	0,415	62,1
8 грудня 2022	1 грудня 2022	0,544	81,4
16 січня 2025	12 січня 2025	0,642	96,0
19 лютого 2027	20 лютого 2027	0,678	101,4
25 березня 2029	29 березня 2029	0,647	96,8
4 травня 2031	12 травня 2031	0,553	82,7
27 червня 2033	5 липня 2033	0,423	63,3
15 вересня 2035	11 вересня 2035	0,380	56,8
19 листопада 2037	11 листопада 2037	0,494	73,9

Примітки. 1. Завдяки тому, що на різних ділянках орбіти Марса і Землі то «віддаляються» одна від одної, то «зближуються», мінімальна відстань за часом не співпадає із моментом протистояння. 2. Великі протистояння виділені жирним шрифтом.

ОСНОВНІ МЕТЕОРНІ ПОТОКИ

Потік	Період активності	Максимум	Радіант		Швидкість, км/с	Годинне число	Примітка
			α	δ			
Квадрантиди	01.01–05.01	03.01	15 ^h 22 ^m	+49°	41.0	Змін. 60 – 200	Максимуми 1943, 1948; комета 1939 I
Віргініди	25.01–15.04	05.03–21.03	13 00	+04	30.8	4+	
Ліриди	16.04–25.04	22.04	18 06	+34	49.0	18+	Білі дощі 1803, 1922; Комета 1861 I Зетчер
η -Аквариди	19.04–28.05	05.05	22 27	–01	66.0	70+	Швидкі, зі слідами; комета IR/Галлея
Боотіди	22.06–30.06	28.06	15 20	+48	18.0	Змін. 0–100	Комета 7P/Понса-Віннеке
α -Каприкорніди	03.07–15.08	30.07	20 36	–10	25.0	4	Комета 1770 I Лекселя
Південні δ -Аквариди	12.07–23.08	30.07	22 00	–16	41.0	16	Найбагатший потік південного неба
Південні κ -Цигніди	03.08–25.08	18.08	19 04	+59	25.0	3	
Персеїди	17.07–24.08	13.08	03 05	+58	60.0	100	Комета Свіфта-Туттля (1862 III)
α -Ауригиди	28.08–05.09	01.09	05 36	+42	66.0	6	Швидкі, зі слідами; комета 1911 II
δ -Ауригиди	20.09–16.10	03.10	05 28	+44	64.0	2	
Драконіди	06.10–10.10	09.10	17 28	+54	23.0	Змін.	Повільні, червонуваті; дощі 1926, 1933, 1946; комета Джакобіні-Ціннера
Оріоніди	02.10–07.11	21.10	06 20	+16	66.0	30	Білі, зі слідами; комета Галлея
Леоніди	06.11–30.11	18.11	10 12	+22	71.0	40	Швидкі, білі; комета Темпеля-Туттля
α -Моноцероїди	15.11–25.11	22.11	07 48	+01	65.0	Змін.	
Гемініди	07.12–17.12	14.12	07 28	+33	35.0	120	Білі, найбагатший потік північного неба; 3200 Фаетон
Урсиди	17.12–26.12	23.12	14 28	+76	35.0	10	Комета 1939 X Туттля

ПРЯМОКУТНІ КООРДИНАТИ ТОЧОК ДЛЯ ПОБУДОВИ ГНОМОНІЧНОЇ СІТКИ
 $(t_0 = 0^\circ, \delta_0 = +30^\circ)$

Абсциса x

$t, ^\circ$	δ							
	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	-0°	$+5^\circ$
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	15,18	13,84	12,80	11,96	11,25	10,64	10,10	9,61
10	30,78	28,02	25,88	24,15	22,71	21,46	20,36	19,37
15	47,24	42,90	39,54	36,84	34,59	32,65	30,94	29,40
20	65,13	58,90	54,13	50,31	47,13	44,42	42,03	39,88
25	85,17	76,60	70,10	64,93	60,66	57,02	53,84	51,00
30	108,48	96,74	88,03	81,17	75,55	70,80	66,67	62,99
35	136,30	120,40	108,80	99,68	92,33	86,17	80,85	76,16
40	171,50	149,40	133,50	121,40	111,70	103,70	96,89	90,90
45	218,40	186,50	164,30	147,80	134,90	124,40	115,50	107,80
50	285,80	236,80	204,50	181,20	163,50	149,30	137,60	127,60
55	393,70	310,80	260,30	225,80	200,50	180,80	164,90	151,60
60	600,00	433,30	345,00	289,60	251,10	222,50	200,00	181,60
65	–	682,20	492,50	390,60	326,20	281,20	247,60	221,20
70	–	–	–	579,30	451,70	372,20	317,30	276,40
75	–	–	–	–	710,30	535,40	430,90	360,60
80	–	–	–	–	–	–	654,90	507,30

Ордината y

$t, ^\circ$	δ							
	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	-0°	$+5^\circ$
0	-173,2	-142,8	-119,2	-100,0	-83,91	-70,02	-57,74	-46,63
5	-173,9	-143,3	-119,5	-100,2	-84,02	-70,07	-57,74	-46,59
10	-175,9	-144,6	-120,4	-100,8	-84,36	-70,22	-57,74	-46,47
15	-179,4	-147,0	-121,9	-101,8	-84,94	-70,48	-57,74	-46,26
20	-184,7	-150,5	-124,2	-103,2	-85,79	-70,85	-57,74	-45,95
25	-192,1	-155,3	-127,4	-105,3	-86,96	-71,37	-57,74	-45,54
30	-202,2	-161,9	-131,7	-108,0	-88,50	-72,04	-57,74	-45,04
35	-216,2	-170,8	-137,4	-111,5	-90,51	-72,91	-57,74	-44,32
40	-235,6	-182,9	-145,0	-116,2	-93,13	-74,04	-57,74	-43,45
45	-263,7	-199,7	-155,4	-122,4	-96,58	-75,50	-57,74	-42,34
50	-306,5	-224,2	-169,9	-130,9	-101,20	-77,43	-57,74	-40,91
55	-378,2	-262,0	-191,3	-143,0	-107,60	-80,04	-57,74	-39,04
60	-519,6	-327,1	-225,1	-161,2	-116,80	-83,69	-57,74	-36,55
65	–	-463,1	-286,1	-191,1	-131,00	-89,08	-57,74	-33,08
70	–	–	–	-248,5	-155,60	-97,75	-57,74	-28,02
75	–	–	–	–	-207,50	-113,70	-57,74	-20,02
80	–	–	–	–	–	–	-57,74	-5,70

Абсциса x

$t, ^\circ$	δ							
	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°	+35°	+40°	+45°
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	9,17	8,74	8,34	7,95	7,57	7,19	6,80	6,40
10	18,45	17,60	16,79	15,99	15,21	14,43	13,65	12,84
15	27,99	26,67	25,41	24,20	23,00	21,81	20,61	19,37
20	37,92	36,09	34,35	32,67	31,02	29,39	27,73	26,03
25	48,41	45,99	43,71	41,51	39,37	37,24	35,09	32,89
30	59,65	56,56	53,65	50,86	48,14	45,45	42,72	40,00
35	71,92	68,01	64,35	60,85	57,47	54,14	50,81	47,43
40	85,53	80,61	76,03	71,69	67,51	63,42	59,35	55,25
45	100,90	94,74	89,02	83,63	78,48	73,47	68,52	63,57
50	118,80	110,90	103,70	96,99	90,62	84,48	78,47	72,50
55	140,10	129,90	120,70	112,20	104,30	96,73	89,40	82,14
60	166,20	152,70	140,80	130,00	120,00	110,60	101,60	92,82
65	199,60	181,30	165,40	151,30	138,40	126,60	115,40	104,70
70	244,50	218,40	196,50	177,50	160,70	145,40	131,30	118,00
75	309,30	269,70	237,80	211,20	188,40	168,20	150,10	133,40
80	412,80	346,30	296,30	256,80	224,30	196,80	172,80	151,40
85	608,80	475,60	386,90	322,90	273,60	234,10	201,20	173,10
90	–	–	549,50	428,90	346,40	285,60	238,40	200,00
95	–	–	–	631,80	467,30	362,70	289,50	234,70
100	–	–	–	–	712,10	493,90	365,90	281,70
105	–	–	–	–	–	766,90	494,30	350,20
110	–	–	–	–	–	–	761,80	461,10

Ордината y

$t, ^\circ$	δ							
	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°	+35°	+40°	+45°
0	-36,40	-26,79	-17,63	-8,75	+0,00	+8,75	+17,63	+26,79
5	-36,32	-26,69	-17,51	-8,60	+0,17	+8,93	+17,83	+27,00
10	-36,10	-26,38	-17,12	-8,16	+0,67	+9,48	+18,44	+27,62
15	-35,72	-25,85	-16,47	-7,40	+1,51	+10,40	+19,40	+28,66
20	-35,16	-25,09	-15,53	-6,31	+2,74	+11,73	+20,82	+30,16
25	-34,41	-24,06	-14,27	-4,84	+4,36	+13,50	+22,71	+32,13
30	-33,44	-22,73	-12,64	-2,97	+6,45	+15,76	+25,11	+34,64
35	-32,21	-21,05	-10,59	-0,61	+9,06	+18,58	+28,09	+37,74
40	-30,64	-18,93	-8,02	+2,32	+12,29	+22,04	+31,73	+41,52
45	-28,67	-16,28	-4,83	+5,95	+16,25	+26,27	+36,16	+46,07
50	-26,16	-12,94	-0,84	+10,44	+21,13	+31,43	+41,52	+51,58
55	-22,92	-8,68	+4,19	+16,04	+27,15	+37,74	+48,01	+58,11
60	-18,67	-3,17	+10,60	+23,09	+34,64	+45,51	+55,91	+66,03
65	-12,90	+4,15	+18,96	+32,13	+44,10	+55,17	+65,61	+75,60
70	-4,76	+14,19	+30,16	+43,98	+56,25	+67,37	+77,64	+87,29
75	+7,46	+28,66	+45,75	+60,01	+72,27	+83,06	+92,79	+101,70
80	+27,62	+51,07	+68,71	+82,65	+94,10	+103,80	+112,30	+119,80
85	+66,69	+89,98	+105,50	+116,70	+125,30	+132,20	+138,00	+142,90

$t, ^\circ$	δ							
	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°	+35°	+40°	+45°
90	–	–	+173,20	+173,20	+173,20	+173,20	+173,20	+173,20
95	–	–	–	+283,80	+255,00	+236,70	+223,90	+214,30
100	–	–	–	–	+424,30	+347,10	+302,20	+272,50
105	–	–	–	–	–	+584,20	+438,10	+360,90
110	–	–	–	–	–	–	+727,70	+508,80

Абсциса x

$t, ^\circ$	δ							
	+50°	+55°	+60°	+65°	+70°	+75°	+80°	+85°
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5,98	5,53	5,04	4,50	3,90	3,19	2,36	1,33
10	11,99	11,08	10,10	9,02	7,80	6,39	4,71	2,64
15	18,07	16,69	15,20	13,56	11,71	9,58	7,05	3,95
20	24,26	22,39	20,36	18,13	15,63	12,76	9,37	5,24
25	30,61	28,19	25,60	22,76	19,58	15,94	11,67	6,50
30	37,15	34,15	30,94	27,44	23,54	19,11	13,94	7,73
35	43,94	40,29	36,41	32,19	27,53	22,27	16,18	8,93
40	51,04	46,66	42,03	37,03	31,55	25,41	18,37	10,08
45	58,52	53,31	47,83	41,97	35,60	28,53	20,51	11,18
50	66,47	60,28	53,84	47,03	39,68	31,62	22,58	12,21
55	74,97	67,65	60,11	52,21	43,79	34,67	24,58	13,19
60	84,17	75,50	66,67	57,53	47,93	37,67	26,49	14,09
65	94,22	83,91	73,56	63,01	52,09	40,60	28,31	14,90
70	105,30	93,01	80,85	68,67	56,27	43,46	30,00	15,63
75	117,80	103,00	88,60	74,51	60,45	46,21	31,57	16,26
80	132,00	113,90	96,89	80,55	64,61	48,84	32,98	16,79
85	148,40	126,20	105,81	86,80	68,74	51,31	34,22	17,20
90	167,80	140,00	115,47	93,26	72,79	53,39	35,27	17,50
95	191,40	156,00	126,01	99,94	76,73	55,66	36,09	17,66
100	221,10	174,70	137,60	106,80	80,50	57,40	36,67	17,70
105	259,80	197,20	150,50	113,90	84,02	58,83	36,99	17,59
110	313,60	224,90	164,90	121,10	87,21	59,86	37,00	17,34
115	394,20	260,40	181,30	128,30	89,93	60,42	36,68	16,94
120	531,70	308,10	200,00	135,50	92,06	60,43	36,04	16,40
125	–	–	221,80	142,30	93,40	59,82	35,02	15,70
130	–	–	–	148,60	93,76	58,51	33,61	14,85
135	–	–	–	153,80	92,87	56,40	31,80	13,86
140	–	–	–	157,20	90,49	53,45	29,59	12,72
145	–	–	–	–	86,34	49,59	26,98	11,46
150	–	–	–	–	80,16	44,80	23,97	10,07
155	–	–	–	–	71,77	39,09	20,61	8,57
160	–	–	–	–	61,08	32,50	16,92	6,98
165	–	–	–	–	48,18	25,14	12,95	5,31
170	–	–	–	–	33,34	17,14	8,76	3,57
175	–	–	–	–	17,06	8,69	4,42	1,80
180	–	–	–	–	0,00	0,00	0,00	0,00

Ордината у

$t, ^\circ$	δ							
	+50°	+55°	+60°	+65°	+70°	+75°	+80°	+85°
0	36,40	46,63	57,74	70,02	83,91	100,0	119,2	142,8
5	36,61	46,85	57,96	70,24	84,12	100,2	119,3	142,9
10	37,25	47,51	58,62	70,89	84,75	100,8	119,8	143,2
15	38,34	48,62	59,74	72,00	85,80	101,8	120,6	143,7
20	39,88	50,20	61,32	73,56	87,29	103,1	121,7	144,4
25	41,93	52,28	63,41	75,60	89,23	104,8	123,1	145,3
30	44,51	54,90	66,02	78,16	91,65	107,0	124,9	146,4
35	47,69	58,11	69,21	81,25	94,56	109,6	127,0	147,7
40	51,54	61,98	73,03	84,93	98,00	112,6	129,4	149,2
45	56,16	66,59	77,55	89,26	102,00	116,1	132,2	150,9
50	61,66	72,04	82,84	94,28	106,60	120,1	135,3	152,7
55	68,21	78,46	89,03	100,10	111,90	124,7	138,8	154,7
60	76,01	86,03	96,23	106,80	117,90	129,7	142,6	156,9
65	85,33	94,95	104,60	114,40	124,60	135,3	146,8	159,3
70	96,53	105,50	114,30	123,20	132,20	141,6	151,4	161,8
75	110,10	118,00	125,70	133,30	140,80	148,4	156,3	164,5
80	126,70	133,00	139,00	144,80	150,40	156,0	161,6	167,3
85	147,20	151,10	154,70	158,00	161,20	164,2	167,2	170,2
90	173,20	173,20	173,20	173,20	173,20	173,2	173,2	173,2
95	206,70	200,50	195,30	190,70	186,60	182,9	179,5	176,3
100	251,20	234,80	221,70	210,90	201,60	193,4	186,1	179,4
105	312,50	278,90	253,80	234,20	218,20	204,7	193,0	182,6
110	401,50	336,90	293,20	261,30	236,70	216,8	200,1	185,8
115	540,90	416,00	342,20	292,90	257,10	229,6	207,4	189,0
120	787,20	529,00	401,10	329,60	279,50	243,0	214,8	192,1
125	–	–	483,80	372,50	304,00	257,0	222,3	195,2
130	–	–	–	422,50	330,50	271,4	229,6	198,1
135	–	–	–	480,70	359,00	286,0	236,8	200,9
140	–	–	–	547,90	388,90	300,6	243,7	203,5
145	–	–	–	–	419,80	314,9	250,3	205,9
150	–	–	–	–	450,90	328,4	256,3	208,1
155	–	–	–	–	481,00	340,9	261,6	210,0
160	–	–	–	–	508,80	351,8	266,2	211,6
165	–	–	–	–	532,80	360,9	269,8	212,8
170	–	–	–	–	551,30	367,6	272,5	213,7
175	–	–	–	–	563,10	371,8	274,2	214,3
180	–	–	–	–	567,10	373,2	274,7	214,5

В. ЗОРІ, ЗОРЯНІ СКУПЧЕННЯ, ТУМАННОСТІ Й ГАЛАКТИКИ

Таблиця 1-В

НАЗВИ ТА ПОЗНАЧЕННЯ СУЗІР'ІВ

Українська назва	Латинська назва		Позначення	Площа, кв. град.	Кількість зір до 6.0 ^m	Видимість в Україні
	у називному відміннику	у родовому відміннику				
Андромеда	Andromeda	Andromedae	And	722	100*	
Близнята	Gemini	Geminorum	Gem	514	70*	
Велика Ведмедиця	Ursa Major	Ursae Majoris	UMa	1280	125*	+
Великий Пес	Canis Major	Canis Majoris	CMa	380	80*	
Візничий	Auriga	Aurigae	Aur	657	90*	
Вовк	Lupus	Lupi	Lup	334	70*	(-)
Водолій	Aquarius	Aquarii	Aqr	980	90	
Волопас	Bootes	Bootis	Boo	907	90*	
Волосся Вероніки	Coma Berenices	Comae Berenices	Com	386	50	
Ворон	Corvus	Corvi	Crv	184	15	
Геркулес	Hercules	Herculis	Her	1225	140	
Гідра	Hydra	Hydrae	Hya	1300	130*	
Годинник	Horologium	Horologii	Hor	249	20	-
Голуб	Columba	Columbae	Col	270	40	
Гончі Пси	Canes Venatici	Canum Venaticorum	CVn	465	30	
Дельфін	Delphinus	Delphini	Del	189	30	
Діва	Virgo	Virginis	Vir	1290	95*	
Дракон	Draco	Draconis	Dra	1083	80*	+
Ерідан	Eridanus	Eridani	Eri	1138	100*	(-)
Жертовник	Ara	Arae	Ara	237	30	-
Живописець	Pictor	Pictoris	Pic	247	30	-
Жирафа	Camelopardalis	Camelopardalis	Cam	757	50	+
Журавель	Crus	Cruis	Gru	366	30*	(-)
Засць	Lepus	Leporis	Lep	290	40	
Зміносець	Ophiuchus	Ophiuchi	Oph	948	100*	
Змія	Serpens	Serpentis	Ser	637	60	
Золота Риба	Dorado	Doradus	Dor	179	20	-
Індіанець	Indus	Indi	Ind	294	20	-
Кассіопея	Cassiopeia	Cassiopeiae	Cas	598	90*	+
Кентавр	Centaurus	Centauri	Cen	1060	50*	(-)
Кит	Cetus	Ceti	Cet	1239	100*	
Кіль	Carina	Carinae	Car	494	110*	-
Козоріг	Capricornus	Capricorni	Cap	414	50	
Компас	Pyxis	Pyxidis	Pyx	221	25	
Корма	Puppis	Puppis	Pup	673	140*	
Косинець	Norma	Normae	Nor	165	20	-
Лебідь	Cygnus	Cygni	Cyg	804	150*	
Лев	Leo	Leonis	Leo	947	70*	

Українська назва	Латинська назва		Позначення	Площа, кв. град.	Кількість зір до 6.0 ^m	Видимість в Україні
	у називному відміннику	у родовому відміннику				
Летюча Риба	Volans	Volantis	Vol	141	20	–
Лисичка	Vulpecula	Vulpeculae	Vul	268	45	
Ліра	Lyra	Lyrae	Lyr	286	45*	
Мала Ведмедиця	Ursa Minor	Ursae Minoris	UMi	256	20*	+
Малий Кінь	Equuleus	Equulei	Equ	72	10	
Малий Лев	Leo Minor	Leonis Minoris	LMi	232	20	
Малий Пес	Canis Minor	Canis Minoris	CMi	183	20*	
Мікроскоп	Microscopium	Microscopii	Mic	210	20	
Муха	Musca	Muscae	Mus	138	30	–
Насос	Antlia	Antliae	Ant	239	20	
Овен	Aries	Arietis	Ari	441	50*	
Одноріг	Monoceros	Monocerotis	Mon	482	85	
Октянт	Octans	Octantis	Oct	291	35	–
Орел	Aquila	Aquilae	Aql	652	70*	
Оріон	Orion	Orionis	Ori	594	120*	
Павич	Pavo	Pavonis	Pav	378	45*	–
Паруси	Vela	Velorum	Vel	500	110*	–
Пегас	Pegasus	Pegasi	Peg	1121	100*	
Персей	Perseus	Persei	Per	615	90*	
Південна Корона	Corona Australis	Coronae Austrini	CrA	128	25	(–)
Південна Риба	Piscis Austrinus	Piscis Austrini	PsA	245	25*	
Південний Змії	Hydrus	Hydri	Hyi	243	20	–
Південний Трикутник	Triangulum Australe	Trianguli Australis	TrA	110	20*	–
Південний Хрест	CruX	Crucis	Cru	68	30*	–
Північна Корона	Corona Borealis	Coronae Borealis	CrB	179	20*	
Піч	Fornax	Fornacis	For	398	35	
Райський Птах	Apus	Apodis	Aps	206	20	–
Рак	Cancer	Cancri	Cnc	506	60	
Риби	Pisces	Piscium	Psc	889	75	
Рись	Lynx	Lyncis	Lyn	545	60	
Різець	Caelum	Caeli	Caе	125	10	(–)
Секстант	Sextans	Sextantis	Sex	314	25	
Сітка	Reticulum	Reticuli	Ret	114	15	–
Скорпіон	Scorpius	Scorpii	Sco	497	100*	
Скульптор	Sculptor	Sculptoris	Sco	475	30	
Столова Гора	Mensa	Mensae	Men	153	15	–
Стріла	Sagitta	Sagittae	Sge	80	20	
Стрілець	Sagittarius	Sagittarii	Sgr	867	115*	
Телескоп	Telescopium	Telescopii	Tel	252	30	–
Телець	Taurus	Tauri	Tau	797	115*	
Терези	Libra	Librae	Lib	538	50	
Трикутник	Triangulum	Trianguli	Tri	132	15	

Українська назва	Латинська назва		Позначення	Площа, кв. град.	Кількість зір до 6,0 ^m	Видимість в Україні
	у називному відміннику	у родовому відміннику				
Тукан	Tucana	Tucanae	Tuc	295	25	–
Фенікс	Phoenix	Phoenicis	Phe	469	40*	–
Хамелеон	Chamaeleon	Chamaeleontis	Cha	132	20	–
Цефей	Cepheus	Cephei	Cep	588	60*	+
Циркуль	Circinus	Circini	Cir	93	20	–
Чаша	Crater	Crateris	Crt	282	20	
Щит	Scutum	Scuti	Sct	109	20	
Ящірка	Lacerta	Lacertae	Lac	201	35	

Примітка. Зірочкою позначені сузір'я, в яких є хоч одна зоря, яскравіша за 2,5^m.

Знаком «+» позначені сузір'я, які цілком або майже цілком не заходять на широтах України, знаком «-» – сузір'я, які ніколи не сходять над горизонтом, «(-)» означає, що частину сузір'я можна спостерігати низько на півдні. Решта сузір'їв, тобто ті, що сходять і заходять, не мають позначок.

Т а б л и ц я 2-В

РУХ СОНЦЯ ЧЕРЕЗ ЗОДІАКАЛЬНІ СУЗІР'Я

Сузір'я	Позначення сузір'я	Тривалість перебування Сонця в сузір'ї	
Стрілець	♐	18 грудня	– 19 січня
Козоріг	♑	19 січня	– 16 лютого
Водолій	♒	16 лютого	– 12 березня
Риби	♓	12 березня	– 18 квітня
Овен	♈	18 квітня	– 14 травня
Телець	♉	14 травня	– 21 червня
Близнята	♊	21 червня	– 20 липня
Рак	♋	20 липня	– 11 серпня
Лев	♌	11 серпня	– 17 вересня
Діва	♍	17 вересня	– 31 жовтня
Терези	♎	31 жовтня	– 22 листопада
Скорпіон	♏	22 листопада	– 30 листопада

Примітка. З 20 листопада по 18 грудня Сонце перебуває у сузір'ї Змієноця, яке не є зодіакальним.

Т а б л и ц я 3-В

ТАБЛИЦЯ СХОДУ І ЗАХОДУ ОКРЕМИХ ЯСКРАВИХ ЗІР НА ШИРОТІ $\phi = 50^\circ$

Зоря або група зір	Вечірній захід	Ранковий схід	Вечірній схід	Ранковий захід
Плеяди	12.05	23.05	04.12	14.11
Пояс Оріона	12.05	20.07	18.01	14.11
Сіріус	14.05	16.08	12.02	15.11
Прокіон	15.06	08.08	05.02	12.12
Поллукс	13.07	20.07	18.01	05.01
Регул	13.08	02.09	27.02	25.01
Спіка	01.10	26.10	23.04	06.03
Антарес	14.11	15.12	18.06	22.04
Арктур	02.12	13.10	10.04	20.05
Альтаір	29.01	23.12	01.07	04.08

102 НАЙЯСКРАВІШІ ЗОРІ НЕБА

№	Зоря	$\alpha_{2000,0}$	$\delta_{2000,0}$	Видима зоряна величина, m_V	Спектр	Відстань, пк	Світність, $L_{\odot} = 1$
1	α And	$0^h08,4^m$	+29°05'	2,06 ^m	B8 IV	33	130
2	β Cas	0 09,2	+59 09	2,27	F2 IV	16,6	27
3	α Phe	0 26,3	-42 18	2,37	K0 III	24	50
4	α Cas	0 40,5	+56 32	2,25	K0 III	71	500
5	β Cet	0 43,6	-17 59	2,04	K0 III	29	100
6	γ Cas	0 56,7	+60 43	2,30	B0 IV	190	2600
7	β And	1 09,7	+35 37	2,06	M0 III	61	360
8	α Eri	1 37,7	-57 14	-0,16	B3 V	45	1900
9	α Ari	1 53,5	+19 18	3,88	A0	63	85
10	β Ari	1 54,6	+20 48	2,64	A5 V	18,3	23
11	γ And	2 03,9	+42 20	2,26	K3 II	110	1150
12	α Ari	2 07,2	+23 28	2,00	K2 III	20	51
13	δ Cet	2 19,3	-02 59	2+9	M5-M9	125	2000±1,2
14	α UMi	2 31,8	+89 16	2,00	F7 II	125	2000
15	α Cet	3 02,3	+04 05	2,56	M2 III	71	380
16	β Per _A	3 08,2	+40 57	2,12	B8 V	29	90
17	α Per _A	3 24,3	+49 52	1,82	F5 Ib	180	4900
18	α Tau	4 35,9	+16 31	0,85	K5 III	20	145
19	β Ori	5 14,5	-08 12	0,12	B8 Ia	≈250	≈50000
20	α Aur	5 16,7	+46 00	0,08	G5 III	13,0	120
21	γ Ori	5 25,1	+06 21	1,64	B2 III	77	1050
22	β Tau	5 26,3	+28 36	1,68	B7 III	40	270
23	δ Ori	5 32,0	-00 18	2,23	O9,5 II	≈250	≈6300
24	ϵ Ori	5 36,2	-01 12	1,70	B0 Ia	≈400	≈26000
25	α Col	5 39,7	-34 04	2,60	B7 IV	83	500

№	Зоря	$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$	Видима зоряна величина, m_V	Спектр	Відстань, лк	Світність, $L_{\odot} = 1$
26	ζ Ori	5 40,8	-01 57	1,79	O9,5 Ib	250	9500
27	κ Ori	5 47,8	-09 40	2,05	B0,5 Ia	200	5000
28	α Ori	5 55,2	+07 24	0,3+1,0	M2 Iab	130	10000+5000
29	β Aur	5 59,5	+44 57	1,90	A2 IV	25	83
30	β CMa	6 22,7	-17 57	1,98	B1 II	150	3000
31	α Car	6 24,0	-52 42	-0,72	F0 II	96	14000
32	γ Gem	6 37,7	+16 24	1,90	A0 IV	31	130
33	α CMa	6 45,1	-16 43	-1,46	A1 V	2,64	22
34	ϵ CMa	6 58,6	-28 58	1,51	B2 I	130	3400
35	δ CMa	7 08,4	-26 24	1,84	F8 I	\approx 550	\approx 50000
36	π Pup	7 17,1	-37 06	2,73	K3 I	\approx 330	\approx 7000
37	η CMa	7 24,1	-29 18	2,40	B5 I	\approx 1000	\approx 80000
38	α Gem	7 34,6	+31 53	1,58+2,85	A1 V + A1 III	15,6	130+14
39	α CMi	7 39,3	+05 14	0,34	F5 IV-V	3,50	7
40	β Gem	7 45,3	+28 02	1,15	K0 III	10,4	30
41	ζ Pup	8 03,6	-40 00	2,21	O5 I	\approx 500	\approx 25000
42	γ Vel	8 09,5	-47 20	1,80	WC8	260	10000
43	ϵ Car	8 22,5	-59 31	1,95	K3 III	200	5200
44	δ Vel	8 44,7	-54 42	1,95	A1 V	24	80
45	λ Vel	9 08,0	-43 26	2,21	K4 I	140	2000
46	β Car	9 13,2	-69 43	1,69	A2 IV	33	180
47	ι Car	9 17,1	-59 17	2,25	A8 I	200	3800
48	κ Vel	9 22,1	-55 01	2,46	B2 IV	170	2400
49	α Hya	9 27,6	-08 40	2,00	K3 III	56	380
50	α Leo	10 08,4	+11 58	1,35	B7 V	24	130
51	γ Leo	10 20,0	+19 50	1,98	K1 III	38	180
52	β UMa	11 01,8	+56 23	2,35	A1 V	24	52
53	α UMa	11 03,7	+61 45	1,79	K0 Iab	38	220

№	Зоря		$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$	Видима зоряна величина, m_V	Спектр	Відстань, пк	Світність, $L_{\odot} = 1$
54	β Leo	Денебола	11 49,1	+14 34	2,14	A3 V	11,1	13
55	γ UMa	Фекда	11 53,8	+53 42	2,43	A0 V	26	60
56	δ Cen	—	12 08,4	-50 43	2,56	B2 IV	120	1100
57	δ Cru	—	12 15,1	-58 45	2,78	B2 IV	110	700
58	δ UMa	Мерез	12 15,4	+57 02	3,30	A3 V	25	260
59	α Cru	Акрукс	12 26,6	-63 06	0,81	B1 IV	100	3700
60	γ Cru	Гакрукс	12 31,2	-57 07	1,63	M4 III	27	130
61	γ Cen	Мухліфайн	12 41,5	-48 58	2,18	A1 IV	40	160
62	β Cru	Мімоза	12 47,7	-59 41	1,30	B0,5 IV	110	2800
63	ϵ UMa	Алот	12 54,0	+55 58	1,76	A0p	25	100
64	ζ UMa	Мізар	13 23,9	+54 56	2,27	A2 V	24	55
65	g UMa	Алькор	13 25,3	+54 59	4,00	A5 V	24	12
66	α Vir	Сітка	13 25,2	-11 10	1,04	B1 III-IV	80	2000
67	ϵ Cen	—	13 39,9	-53 28	2,26	B1 III	115	1300
68	η UMa	Бенетнаш	13 47,5	+49 19	1,85	B3 V	31	140
69	β Cen	Хадар	14 03,9	-60 22	0,60	B1 III	160	11000
70	θ Cen	Менкент	14 06,7	-36 22	2,06	K0 III	18,7	40
71	α Boo	Арктур	14 15,7	+19 11	-0,04	K2 III	11,3	105
72	η Cen	Марфікент	14 35,5	-42 09	2,32	B1 V	94	850
73	α Cen	Толлман	14 39,6	-60 50	-0,01/+1,34	G2 V/K1 V	1,35	1,5/0,5
74	α Lup	Мен	14 41,9	-47 23	2,28	B1,5 III	170	2800
75	ϵ Boo	Ізар	14 45,0	+27 04	2,39	A0	64	370
76	β UMi	Кохаб	14 50,7	+74 09	2,08	K4 III	40	180
77	α CrB	Гемма	15 34,7	+26 43	2,21	A0 V	23	53
78	δ Sco	Дшуба	16 00,3	-22 37	2,29	B0,2 IV	125	1500
79	α Sco	Ангарес	16 29,4	-26 26	1,09	M1,5 Ib	185	10000
80	α Tra	Атрія	16 48,7	-69 02	1,92	K2 II-III	125	2200
81	ϵ Sco	Вейф	16 50,2	-34 18	2,29	K2,5 III	20	38
82	η Oph	Сабік	17 10,4	-15 44	2,43	A2,5 V	26	56

№	Зоря	$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$	Видима зоряна величина, m_V	Спектр	Відстань, лк	Світність, $L_{\odot} = 1$
83	λ Sco	17 33,6	-37 06	1,62	B2 IV	215	7800
84	α Oph	17 34,9	+12 34	2,10	A5 III	14,3	24
85	θ Sco	17 37,2	-43 00	1,86	F1 II	83	1000
86	κ Sco	17 42,5	-39 02	2,38	B1,5 III	145	1800
87	γ Dra	17 56,6	+51 29	2,23	K5 III	45	210
88	ϵ Sgr	18 24,2	-34 23	1,80	B9,5 III	44	280
89	α Lyr	18 36,9	+38 47	0,03	A0 V	7,8	48
90	σ Sgr	18 55,3	-26 18	2,06	B2 V	69	560
91	α Aql	19 50,8	+08 52	0,77	A7 V	5,14	10,3
92	γ Cyg	20 22,2	+40 15	2,24	F8 Ib	480	22000
93	α Pav	20 25,6	-56 44	1,91	B2 IV	56	410
94	α Cyg	20 41,4	+45 17	1,25	A2 Ia	1000	≈ 250000
95	ϵ Cyg	20 46,2	+33 58	2,50	K0 III	22	37
96	α Ser	21 18,6	+62 35	2,44	A7 IV	15	19
97	ϵ Per	21 44,2	+09 52	2,40	K2 Ib	205	3500
98	α Gru	22 08,2	-46 58	1,74	B7 IV	31	150
99	β Gru	22 42,7	-46 53	2,13	M5 III	53	310
100	α PsA	22 57,7	-29 37	1,16	A 3 V	7,7	16
101	β Peg	23 03,8	+28 05	2,1+3,0	M2,5 II-III	62	440-190
102	α Peg	23 04,8	+15 12	2,49	B9 III	43	145

40 НАЙБЛИЖЧИХ ЗІР

№	Зоря	$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$	Видима зоряна величина, m_V	Спектр	Відстань, пк	Світність, $L_{\odot} = 1$
1	Сонце	—	—	$-26,73^m$	G2 V	$4,85 \cdot 10^{-6}$	1,0
2	Проксима	$14^h 29,7^m$	$-62^{\circ} 41'$	11,05	M5e	1,30	0,000056
3	α Cen A	14 39,6	$-60 50$	0,32	G2 V	1,34	1,52
4	α Cen B	14 39,4	$-60 50$	1,72	K5 V	1,34	0,50
5	Барнарда	17 57,8	+4 42	9,54	M4 V	1,82	0,000427
6	Вольф 359	10 56,5	+7 01	13,53	M6e V	2,35	0,000018
7	Лаланд 21185	11 03,3	+35 58	7,50	M2 V	2,54	0,0055
8	α CMa A	6 45,2	$-16 43$	$-1,46$	A1 V	2,64	23
9	α CMa B	6 45,2	$-16 43$	8,47	A5 VII	2,64	0,0025
10	L 726-8A	1 39,0	$-17 57$	12,45	M5e V	2,68	0,000067
11	L 726-8B	1 39,0	$-17 57$	12,95	M6e V	2,68	0,000041
12	Росс 154	18 49,8	$-23 50$	10,95	M4e V	2,98	0,00031
13	Росс 248	23 41,9	+44 11	12,29	M6e V	3,16	0,000102
14	ϵ Eri	3 32,9	$-9 28$	3,73	K2 V	3,22	0,28
15	L 789-6	22 38,6	$-15 18$	12,18	M7e V	3,30	0,00012
16	Росс 128	11 47,7	+0 48	11,10	M4 V	3,33	0,00034
17	ϵ Ind	22 03,4	$-56 47$	4,68	K5 V	3,44	0,135
18	α CMi A	7 39,3	+5 14	0,34	F5 IV	3,49	7,6
19	α CMi B	7 39,3	+5 14	10,70	F VII	3,49	0,00054
20	61 Cyg A	21 06,9	+38 45	5,22	K5 V	3,50	0,085
21	61 Cyg B	21 06,9	+38 45	6,03	K7 V	3,50	0,040
22	BD +59°1915 A	18 42,8	+59 38	8,90	M4 V	3,52	0,0029
23	BD +59°1915 B	18 42,8	+59 38	9,69	M5 V	3,52	0,0014
24	BD +43°44 A	0 18,4	+44 01	8,07	M1 V	3,57	0,0064
25	BD +43°44 B	0 18,4	+44 01	11,04	M6 V	3,57	0,00042
26	Лакайль 9352	23 05,9	$-35 51$	7,36	M2 V	3,58	0,0124
27	τ Cet	1 44,1	$-15 56$	3,50	G8 V	3,65	0,452
28	BD +5°1668	7 27,4	+5 14	9,89	M5 V	3,72	0,0013
29	L 725-32	1 12,5	$-17 00$	12,10	M4 V	3,72	0,00016
30	Каптейна	5 11,7	$-45 01$	8,89	M1 V	3,92	0,0036
31	HD 202560	21 17,3	$-38 52$	6,67	K7	3,95	0,027
32	Крюгер 60 A	22 28,0	+57 42	9,85	M2 V	3,95	0,0014
33	Крюгер 60 B	22 28,0	+57 42	11,30	M4e V	3,95	0,00041
34	Росс 614 A	6 29,4	$-2 49$	11,17	M7 V	4,00	0,00046
35	Росс 614 B	6 29,4	$-2 49$	14,80	M	4,00	0,000016
36	Ван Маанена	0 48,4	+5 17	12,37	DG	4,24	0,00017
37	BD $-12^{\circ} 4523$	16 30,3	$-12 40$	10,12	M4 V	4,26	0,00138
38	Вольф 424 A	12 33,3	+9 01	12,40	M4 V	4,26	0,000087
39	Вольф 424 B	12 33,3	+9 01	13,40	M7e V	4,26	0,000071
40	CD $-37^{\circ} 15492$	0 05,4	$-37 21$	8,57	M2 V	4,37	0,0061

ЯСКРАВИ ПОДВІЙНІ ЗОРІ

А. Яскраві візуально-подвійні зорі

Зоря	$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$	Видима зоряна величина, $m_A + m_B$	Спектральний клас $Sp_A + Sp_B$	Кутова відстань a''	Кольори
η Cas	00 ^h 49 ^m	+57°49'	3,5 + 7,4	G0 V + M0	13	жовтий – червоний
γ And	02 04	+42 20	2,3 + 5,1	K3 II + F0	10	жовтий – зелений
η Per	02 51	+55 53	3,8 + 8,5	K3 Ib + ?	28	оранжевий – блакитний
ι Cnc	08 47	+28 46	4,2 + 6,8	G8 II + A3 V	31	жовтий – блакитний
γ Leo	10 20	+19 50	2,6 + 3,8	K1 III + K0	4	оранжевий – оранжевий
α CVn	12 56	+38 19	2,9 + 5,6	B9,5 + F0	20	жовтий – фіолетовий
ζ UMa	13 24	+54 56	2,3 + 4,0	A2 V + A2	14	білий – білий
ϵ Boo	14 45	+27 04	2,7 + 5,1	K0 II + A0 V	3	жовтий – зелений
β Sco	16 05	-19 48	2,6 + 5,1	B0,5 V + B2 V	14	білий – зелений
α Her	17 15	+14 24	3,5 + 5,4	M5 II + G5 III	5	оранжевий – зелений
ζ Lyr	18 45	+37 36	4,3 + 5,7	A3 + A3	44	білий – білий
θ Ser	18 56	+04 12	4,5 + 5,4	A5 + A5	22	білий – білий
β Cyg	19 31	+27 57	3,1 + 5,4	K3 II + B8 V	35	жовтий – блакитний
γ Del	20 47	+16 08	4,3 + 5,3	K1 IV + F7 V	10	жовтий – зелений
δ Cyg	21 04	+38 38	5,2 + 6,0	K5 V + K7 V	28	оранжевий – оранжевий

Б. Деякі яскраві спектрально-подвійні зорі

Г'мя	Зоря	$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$	Видима зоряна величина, m_V	Спектральний клас	Період, доба
Сіраха	α And	00 ^h 08,4 ^m	+29°05,4'	2,06	B8 IV	96,70
Шератан	β Ari	01 54,6	+20 48,5	2,64	A5 V	107,00
Алголь	β Per	03 08,2	+40 57,3	2,12	B8 V	2,87
Рігель	β Ori	05 14,5	-08 12,1	0,12	B8 Ia	9,90
Менкаб	β Aur	05 59,5	+44 56,8	1,90	A2 IV	3,96
Кастор	α Gem	07 34,6	+31 53,3	1,98	A1 V	3 періоди
Мізар	ζ UMa	13 23,9	+54 55,5	2,27	A2 V	20,50
Спіка	α Vir	13 25,2	-11 09,7	1,04	B1 III-IV	4,01
Гемма	α CrB	15 34,7	+26 42,9	2,21	A0 V	17,36
Гінах	ϵ Cyg	20 46,2	+33 58,2	2,46	K0 III	?

10 ЗІР З НАЙБІЛЬШИМИ ВЛАСНИМИ РУХАМИ

№	Зоря	$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$	Видима зоряна величина	Спектр	μ	Відстань, пк	Світність, L/L_{\odot}
1	Зоря Барнарда	17 ^h 57,8 ^m	+4°42'	9,54 ^m	M4 V	10,38 ^u	1,82	0,00043
2	Зоря Каптейна	05 11,7	-45 01	8,89	M1 V	8,66	3,92	0,0036
3	Грумбрідж 1830	11 53,0	+37 43	6,45	G8 V	7,05	8,62	0,167
4	Лакайль 9352	23 05,9	-35 51	7,36	M2 V	6,90	3,58	0,0124
5	Кордова 32416	0 05,4	-37 21	8,57	M2 V	6,10	4,37	0,0061
6	Росс 619	8 11,9	+8 53	12,50	M5 V	5,35	6,67	0,00033
7	61 Лебедя	21 06,9	+38 45	5,2+6,0	K5 V + K7 V	5,22	3,50	0,085 + 0,040
8	Лаланд 21185	11 03,3	+35 58	7,50	M2 V	4,80	2,54	0,0055
9	Вольф 359	10 56,5	+7 01	13,50	M6 V	4,71	2,35	0,000018
10	Процита	14 29,7	-62 41	11,05	M5e	3,86	1,31	0,000056

40 ЯСКРАВИХ ЗМІННИХ ЗІР

Зорі	$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$	Видима зоряна величина		Період зміни блиску, доба
			максимум	мінімум	
Ліриди (зорі типу RR Ліри)					
VZ Рака	8 40,9	+9 49	7,2	7,9	0,1784
RR Ліри	19 ^h 25,5 ^m	+42°47'	7,0 ^m	8,1 ^m	0,5669
XZ Лебеда	19 32,4	+56 23	8,9	10,2	0,4667
Цефеїди					
SU Кассіопеї	2 52,0	+68 53	5,7	6,2	1,9493
T Однорога	6 25,2	+7 05	5,6	6,6	27,0246
RT Візничого	6 28,6	+30 30	5,0	5,8	3,7285
ζ Близнят	7 04,1	+20 34	3,6	4,2	10,1507
η Орла	19 52,5	+1 00	3,5	4,4	7,1766
S Стріли	19 56,0	+16 38	5,2	6,0	8,3821
X Лебеда	20 43,4	+35 35	5,9	6,9	16,3863
T Лисички	20 51,5	+28 15	5,4	6,1	4,4355
δ Цефея	22 29,2	+58 25	3,5	4,4	5,3663
Довгоперіодичні змінні (тип Міри Кита)					
ο Кита	2 19,3	-2 59	2,0	10,1	332
R Лева	9 47,6	+11 26	4,4	11,3	310
R Гідри	13 29,7	-23 17	3,5	11,0	389
R Орла	19 06,4	+8 14	5,7	12,0	284
χ Лебеда	19 50,5	+32 55	3,3	14,2	408
T Цефея	21 09,6	+68 29	5,4	11,0	388
R Кассіопеї	23 58,5	+51 24	4,8	13,0	431
Затемнювано-змінні зорі					
U Цефея	1 02,2	+81 53	6,8	9,2	2,493
β Персея	3 08,2	+40 57	2,2	3,5	2,867
λ Тельця	4 00,7	+12 30	3,5	4,0	3,953
AR Візничого	5 18,3	+33 46	6,2	6,8	4,135
WW Візничого	6 32,5	+32 27	5,7	6,4	2,525
β Ліри	18 50,1	+33 22	3,4	4,3	12,914
U Стріли	19 18,8	+19 37	6,5	9,3	3,381

Зорі	$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$	Видима зоряна величина		Період зміни блиску, доба
			максимум	мінімум	
Неправильні та напівправильні змінні					
ρ Персея	3 05,2	+38 51	3,3	4,0	~ 50
α Орiona	5 54,7	+7 24	0,0	1,3	~ 2300
η Близнят	6 14,9	+22 30	3,1	3,9	~ 233
UU Візничого	6 36,5	+38 27	5,1	6,8	~ 440
RS Рака	9 10,6	+30 58	5,5	6,5	~ 120
U Гідри	10 37,6	-13 23	4,8	5,9	–
γ Гончих Псів	12 45,1	+45 26	5,2	6,6	~ 160
R Північної Корони	15 48,6	+28 09	5,8	14,0	–
α Скорпіона	16 29,4	-26 26	0,9	1,2	~ 1800
α Геркулеса	17 14,7	+14 24	2,7	4,0	–
R Ліри	18 55,3	+43 57	3,9	5,0	~ 46
<i>W</i> Лебедя	21 36,0	+45 22	5,1	7,6	~ 131
μ Цефея	21 43,5	+58 47	3,4	5,1	~ 730*
ρ Кассіопеї	23 54,4	+57 30	4,1	6,2	~ 320

Примітки. До списку увійшли змінні зорі, котрі можна спостерігати в Україні, і котрі не потребують точної фотометрії, тобто мають амплітуду зміни блиску не менше $0,5^m$.

* μ Сер має принаймні 2 цикли: на повільне коливання десь за 700 діб накладаються коливання з циклом біля 65 діб.

ГАЛАКТИЧНІ РОЗСІЯНІ СКУПЧЕННЯ

NGC, IC	M	Сузір'я	Екваторіальні координати		Діаметр	Інтегральна зоряна величина	Кількість зір	Відстань, світлової рік	Вік, млн років
			$\alpha_{(2000.0)}$	$\delta_{(2000.0)}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
457		Cas	01 ^h 19,6 ^m	+58°12'	14'	7,5	50	7970	21
581	103	Cas	01 33,4	+60 39	6	7,0	30	7200	22
869	h Per	Per	02 19,0	+57 08	36	4,3	250	6820	12
884	χ Per	Per	02 22,3	+57 08	36	4,3	200	7690	11
1039	34	Per	02 42,1	+42 46	42	5,7	70	1640	270
Плеяди	45	Tau	03 47,4	+24 06	180	1,4	160	400	71
Гіади		Tau	04 19,7	+15 37	1100	0,8	100	150	630
1912	38	Aur	05 28,7	+35 51	26	7,0	150	3500	290
1960	36	Aur	05 36,3	+34 08	19	6,3	60	4320	29,5
2099	37	Aur	05 52,3	+32 33	34	6,2	270	4540	350
2168	35	Gem	06 09,0	+24 21	30	5,6	120	2680	95
2281		Aur	06 48,3	+41 05	15	6,7	30	1830	355
2287	41	CMa	06 46,0	-20 45	50	5,0	90	2270	240
2323	50	Mon	07 03,2	-08 31	16	7,2	2050	3250	100
2422	47	Pup	07 36,6	-14 30	30	4,3	120	1530	30-100
2437	46	Pup	07 41,8	-14 49	27	6,6	500	5200	500
2447	93	Pup	07 44,5	-23 51	20	6,5	80	3400	390
2548	48	Hyd	08 13,8	-05 48	54	5,5	170	2050	300
2632(Яісла)	44	Cnc	08 40,4	+19 40	100	3,9	60	610	725
2682	67	Cnc	08 51,3	+11 48	18	7,0	100	2980	2600
6405	6	Sco	17 40,1	-32 13	25	4,6	70	1600	80-100
6475	7	Sco	17 54,0	-34 49	80	3,3	750	780	220
6494	23	Sgr	17 57,1	-18 59	35	6,0	120	2060	300

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6531	21	Sgr	18 04,7	-22 30	13	7,2	110	3900	4-8
6611	16	Sgr	18 18,8	-13 48	25	6,6	55	5740	7,6
IC 4725	25	Sgr	18 31,7	-19 15	32	6,2	220	2300	100
6694	26	Sgr	18 45,3	-09 24	15	9,0	230	4900	4-6
6613	18	Sgr	18 19,9	-17 08	9	7,5	40	3900	50
6705	11	Sct	18 51,1	-06 16	12	6,6	200	6160	200
6913	29	Cyg	20 24,0	+38 32	7	7,5	70	4250	90
7092	39	Cyg	21 31,8	+48 26	30	5,3	25	1070	275
7654	52	Cas	23 24,8	+61 36	18	7,7	100	4660	58

ГАЛАКТИЧНІ КУЛЯСТІ СКУПЧЕННЯ

NGC	М	Сузір'я	Екваторіальні координати		Діаметр	Інтегральна зоряна величина	Відстань, світлових років	Вік, млн років
			$\alpha_{(2000.0)}$	$\delta_{(2000.0)}$				
1904	79	Lep	05 ^h 24,2 ^m	-24°31'	10'	7,8	44000	
4590	68	Hyd	12 39,5	-26 45	11	8,2	31000	
5024	53	Com	13 12,9	+18 10	16	7,6	60000	4900
5272	3	CVn	13 42,2	+28 22	22	6,2	34100	2300
5904	5	Scr	15 18,6	+02 05	25	5,6	24600	3400
6093	80	Sco	16 17,0	-22 58	7	7,3	32800	725
6121	4	Sgr	16 23,6	-26 32	26	5,6	7200	660
6171	107	Oph	16 32,6	-13 03	13	8,2	18900	
6205	13	Her	16 41,7	+36 28	21	5,8	25300	2000
6218	12	Oph	16 47,2	-01 57	21	6,7	16100	1050
6254	10	Oph	16 57,1	-04 06	22	6,6	14400	725
6226	62	Oph	17 01,2	-30 07	15	6,5	19200	
6273	19	Oph	17 02,6	-26 16	14	6,8	28500	2200
6341	92	Her	17 17,1	+43 08	30	6,4	26900	1150
6333	9	Oph	17 19,2	-18 31	12	7,7	26000	
6402	14	Oph	17 37,6	-03 15	29	7,6	29100	2300
6626	28	Sgr	18 24,5	-24 52	15	6,8	18700	1200
6637	69	Sgr	18 31,4	-32 21	10	7,8	34000	
6656	22	Sgr	18 36,4	-23 54	35	5,1	10500	1660
6681	70	Sgr	18 43,2	-32 17	8	8,2	35000	
6715	54	Sgr	18 55,1	-30 29	12	7,6	70000	
6779	56	Lyr	19 16,6	+30 11	9	8,2	31000	
6809	55	Sgr	19 40,0	-30 58	29	6,3	17700	2040
6838	71	Sge	19 53,8	+18 47	7	8,2	12700	
6864	75	Sgr	20 06,1	-21 55	7	8,5	59000	
6981	72	Aqr	20 53,5	-12 32	7	9,3	56000	
7078	15	Peg	21 30,0	+12 10	18	6,2	33800	2240
7089	2	Aqr	21 33,5	-00 49	17	6,5	37700	2090
7099	30	Cap	21 40,4	-23 10	16	7,2	26200	890

Таблиця 11-В

ГАЛАКТИЧНІ ДИФУЗНІ (Д), ПЛАНЕТАРНІ (П) І ТЕМНІ (Т) ТУМАННОСТІ

NGC, IC або В	М	Сузір'я	Екваторіальні координати		Тип	Діаметр	Інтегральна зоряна величина	Відстань, світлові роки	Власна назва
			α (2000.0)	δ (2000.0)					
246		Cet	00 ^h 47,1 ^m	-11°52'	П	4'	8,5	1300	
650	76	Per	01 42,4	+51 34	П	2,7×1,8	10,1	3400	Мала Гантель (Метелик)
1952	1	Tau	05 34,5	+22 01	П	6×4	8,4	6300	Крабоподібна туманність
2392		Gem	07 29,2	+20 55	П	0,8	8,3	2900	
3587	97	UMa	11 14,8	+55 01	П	3,4×3,3	9,9	2600	Сова
6543		Dra	17 58,6	+66 38	П	0,4×0,3	8,1	3600	
6720	57	Lyr	18 53,6	+33 02	П	1,4×1	8,8	2300	Кільце
6826		Cygn	19 44,8	+50 32	П	0,4	8,8	3200	
6853	27	Vul	19 59,6	+22 43	П	8×4	7,1	1000	Гантель
7009		Aqr	21 04,2	-11 22	П	0,7	8,4	2900	Сатурн
7293		Aqr	22 29,6	-20 50	П	15×12	7,6	400	Слимак
7662		And	23 25,9	+42 32	П	0,5	8,3	3900	
IC 59		Cas	00 57,7	+61 05	Д	12×18	2,2		
1976	42	Ori	05 35,3	-05 23	Д	60×66	4,0	1500	Туманність Оріона
2068	78	Ori	05 46,7	+00 03	Д	8×6	8,3	1600	
2237-9		Mon	06 32,3	+05 03	Д	61×44	9,0	5500	Розетка
2244		Mon	06 32,4	+04 52	Д	24	4,8	5500	
2261		Mon	06 39,2	+08 45	Д	Var	Var	2500	Змінна туманність Хаббла
2264		Mon	06 41,1	+09 53	Д	20	3,9	2600	Конус
6514	20	Sgr	18 02,0	-23 02	Д	27×29	8,5	3500	Потрійна
6523	8	Sgr	18 03,5	-24 23	Д	35×65	5,8	5100	Лагуна
6611	16	Sgr	18 18,5	-13 47	Д	6	6,0	5500	
6618	17	Sgr	18 20,5	-16 11	Д	37×46	7,0	3000	Омега (або Либідь)
7000		Cygn	20 58,8	+44 20	Д	100×120	1,3	1600	(Північна) Америка
В 33		Ori	05 40,9	-02 28	Т	6×4		1600	Кінська голова
В 72		Oph	17 23,0	-23 34	Т	20			
В 92		Sgr	18 15,5	-18 11	Т	15			

Примітка. У випадку дифузних туманностей видимі зор'яні величини стосуються зір, що освітлюють туманність.

ЯСКРАВІ ГАЛАКТИКИ

NGC	М	Сузір'я	Екваторіальні координати		Діаметр	Інтегральна зоряна величина	Тип	Відстань, млн світлових років
			α (2000.0)	δ (2000.0)				
205	110	And	00 ^h 40,4 ^m	+41°41'	15'×8'	8,0	E5	2,4
224	31	And	00 42,7	+41 16	175×62	3,5	Sab	2,4
247		Cet	00 47,1	-20 46	19×5	8,9	Sab	8
598	33	Tri	01 33,9	+30 39	64×35	5,7	Sac	3,0
1068	77	Cet	02 42,7	-00 01	7	8,8	Sa	70
2403		Cam	07 36,9	+65 36	18×10	8,4	Sc	9,5
2903		Leo	09 32,2	+21 30	13×5	8,9	Sb	24
3031	81	UMa	09 55,6	+69 04	20×9	6,9	Sab	11
3034	82	UMa	09 55,8	+69 41	8×3	8,4	I0	11
3521		Leo	11 05,8	-00 02	7×4	8,9	Sbc	35
4258	106	CVn	12 19,0	+47 18	12×4	8,3	Sab	35
4472	49	Vir	12 29,8	+08 00	2	8,4	E2/S0	56
4486	87	Vir	12 30,8	+12 24	6	8,6	E0pec	56
4594	104	Vir	12 40,0	-11 37	8×5	8,3	Sa	17
4649	60	Vir	12 43,7	+11 33	2,5	8,8	E2	56
4736	94	CVn	12 50,9	+41 07	14×13	8,2	Sa	23
4826	64	Com	12 56,7	+21 41	10×4	8,5	Sa	25
5055	63	CVn	13 15,8	+42 02	13×8	8,6	Sbc	40
5194	51	CVn	13 29,9	+47 12	9×8	8,4	Sa	35
5457	101	UMa	14 03,2	+54 21	40	7,7	Sab	18

ДЕЯКІ СКУПЧЕННЯ ГАЛАКТИК

Сузір'я	Екваторіальні координати		Діаметр	Відстань, млн світлових років
	α (2000.0)	δ (2000.0)		
Персей	03 ^h 19 ^m	+41°30'	4°	320
Рак	08 20	+21 04	3	260
Діва	12 32	+12 23	12	56
Гончі Пси	12 50	+21 27	19	28
Волосся Вероніки	12 59	+27 58	4	370
Північна Корона	15 22	+27 43	0,5	620
Геркулес	16 05	+17 47	0,1	570

ПОКАЖЧИК

- Аберация світла 61
Азимут 12
Андромеда 62
Апекс 207
Апогей 117, 155
Аристілл 17
Армстронг Нейл 133
Астероїд 197
Астрогнозія 56
Астрономічна одиниця 40, 41
Астрофотометрія 36
- Байєр Йоганн 50
Балдж 256
Бар 267
Близнята 66
Блиск 36
Болід 206
Болота місячні 130
Борозни 132
Брекчія 133
Бунзен Роберт 230
- Вал 130
Велика Ведмедиця 58
Великий Пес 68
Венера 181
Вертикал 9
– перший 10
Висота світила 12
Виток
– висхідний 156
– низхідний 156
Вихори 224
Відстань
– зенітна 12
– фокусна 47
Візничий 66
Вік Місяця 124
Вісь світу 10
Вовк 72
Водолій 65
Волопас 70
Волосся Вероніки 68
Вольф Макс 54
Ворон 69
Вузол
– місячної орбіти 105
– висхідний 118
– низхідний 118
- Галактика 255
Галактика
– асиметрична 270
– взаємодіюча 270
– дископодібна 270
– еліптична 262
– карликова 262
– кільцева 270
– компактна 270
– лінзоподібна 262
– неправильна 267
– пекулярна 270
– спіральна 265
Галлей Едмонд 220
Гамма-сплеск 274
Гамов Георгій (Джордж) 275
Гевелій Ян 49, 128
Географічна
– довгота 7

- широта 7
- Географічні координати 7
- Геркулес 70
- Гершель Вільям 66
- Гіади 66
- Гіганти 237
- Гідра 68
- Гіпергіганти 237
- Гірка центральна 130
- Гномон 91
- Годинне коло 10
- Годинний кут 13
- Голова комети 218
- Головна послідовність 235
- Гоман Вальтер 201
- Гончі Пси 70
- Гори кільцеві 131
- Горизонт 9
- Гранули 86
- Гребенці 224
- Грімальді Франческо 128
- Гудрайк Джон 62
- Гойгенс Христіан 154

- Дейтерій 238
- Декани 79
- Дельфін 64
- Деннінг Вільям 206
- Диск Галактики
 - товстий 256
 - тонкий 256
- Дихотомія 182
- Діаграма
 - Герцшпрунга-Рессела 235
 - спектр — світність 235, 249
- Діва 68
- Доба 23
 - середня сонячна 24
- Довгота
 - геліографічна 103
 - екліптична 14
 - селенографічна 143
- Долини 132
- Дош зоряний 205
- Дракон 61
- Дрепер Генрі 52
- Дрейер Йохан 54

- Евдокс 49
- Евекція 116
- Екліптика 10, 14
- Екліптична
 - довгота 14
 - широта 14
- Ексцентриситет 170
- Елонгація
 - західна 163
 - східна 163
- Енергія потенціальна 237
- Еріда 196
- Ерідан 68
- Ерос 198
- Ефект
 - упаковки 238
 - Шретера 182
- Ефемерида 171

- Закони Кеплера 170, 171
- Затемнення сонячне
 - гібридне 108
 - кільцеподібне 105, 108
 - повне 108
 - часткове 108
- Захід
 - геліакічний 77
 - космічний 77
- Землезнавство космічне 153
- Зеніт 9

- Змієносець 70
- Змія 70
- Зона сонячних затемнень 106
- Зоря 231
 - візуально-подвійна 250
 - Вольфа-Райе 235
 - еруптивна 241
 - затемнювано-змінна 243
 - змінна довгоперіодична 242
 - змінна напівправильна 242
 - змінна неправильна 242
 - катаклізмична 242
 - наднова 239
 - нейтронна 239
 - нова 242
 - Полярна 12, 61, 82
 - пульсуєюча 241, 242
 - спектрально-подвійна 250
- Зоряна величина
 - абсолютна 39
 - видима 36
- Зоряний годинник 80
- Зум
 - оптичний 47
 - цифровий 47
- Календар** 8
 - григоріанський 33
 - місячний 32, 33
 - місячно-сонячний 32, 33
 - сонячний 32
 - юліанський 32
- Карлик
 - білий 237, 239
 - коричневий 232
 - нормальний 235
- Карта зоряного неба 22
- Кассіопея 61
- Квадрант 93
- Квадратура
 - західна 167
 - східна 167
- Квазаг 274
- Квазар 273
- Кит 65
- Кіль 70
- Кільця Сатурна 193
- Кінематика 174
- Кірхгоф Густав 230
- Козоріг 65
- Коллінз Майкл 133
- Коло
 - схилення 10
 - широти 14
- Комета 216
- Компас 69
- Координати селенографічні 143
- Корма 69
- Космічні промені сонячні 89
- Кратер 130
- Крива блиску 246
- Кульмінація
 - верхня 14
 - нижня 14
- Кут
 - позиційний 252
 - рефракції 16
- Кутова відстань 9
- Кутове збільшення 47
- Лаланд Жозеф 207
- Лангрен Мішель 128
- Лебідь 63
- Лев 68
- Лисичка 64
- Лібрація Місяця
 - паралактична 127
 - по довготі 126

- по широті 126
- фізична 128
- Лівітт Генрієтта 243
- Лінія
 - апсид 116
 - зміни дати 28
- Ліра 63
- Ліриди 242

- Макемаке 197
- Мала Ведмедиця 61
- Малий Кінь 64
- Малий Лев 68
- Малий Пес 68
- Марій Симон 62
- Маркарян Б. Є. 54
- Марс 183
- Материки місячні 130
- Медлер Йоганн 129
- Меридіан
 - географічний 91
 - гринвіцький 25
 - нульовий Керрінгтона 103
 - центральний 25
- Меркурій 180
- Мессьє Шарль 53
- Метеор
 - спорадичний 205
 - стаціонарний 205
 - телескопічний 205
- Метеорит 206
- Метеороїд 205
- Метеорологія 153
- Метод
 - Аргеландера 244
 - Нейланда — Блажко 245
 - Пікерінга 245
- Місцева група галактик 272
- Місяць
 - аномалістичний 126
 - драконічний 118, 126
 - сидеричний 118
 - синодичний 32, 114
- Модель небесної сфери 11
- Модуль відстані 39
- Молочний Шлях 66
- Моря місячні 129

- Навігація 153
- Надгіганти 237
- Надир 9
- Надскупчення галактик 272
- Насос 70
- Небезпека астероїдна 198
- Небесна сфера 9
- Небесний
 - екватор 10
 - меридіан 10
- Неоменія 32, 113
- Нептун 195

- Овен 65
- Одноріг 68
- Однорідність Всесвіту 272
- Олдрін Едвін 133
- Орбіта стаціонарна 155
- Орел 64
- Оріон 67
- Освітленість 36
- Отвір відносний телескопа 47

- Паралакс
 - річний 41
 - спектральний 42
 - тригонометричний 42
- Паралель добова 10
- Парсек 42
- Паруси 70

Пегас 62, 65
Пензіас А. 275
Перигей 155
Персей 62
Піввісь велика 170
Південна Риба 66
Північна Корона 70
Пікколоміні Алессандро 50
Планета
– верхня 161
– нижня 161
Планети-карлики 195
Плеяди 66
Площа радіації 214
Плутон 196
Поверхня місячна 129
Погсон Норман 37
Погсона формула 38
Покриття зір Місяцем 120
Полуденна лінія 10, 91
Полудень 24
Полюс світу 10, 82
Полярні сйва 224
Понс Жан 216
Поправка геліоцентрична 246
Потепління глобальне 100
Потік метеорний 205
Похибка ведення 247
Пояс Еджворта — Койпера 196
Пояс Оріона 67
Прецесія 17
Проекція гномонічна 212
Промені світлі 132
Проникна сила телескопа 47
Протистояння 167
Протозоря 238
Протуберанець 88
Пряме піднесення 14
Птолемей Клавдій 49
Пульсар 239
Радіант 205
Радіус гравітаційний 239
Рак 68
Реакція термоядерного синтезу 238
Реголіт 133
Рефлектор 42
Рефрактор 42
Рефракція астрономічна 16
Риби 65
Рівняння часу 24
Рік
– високосний 32
– драконічний 106
– тропічний 8, 30
Річчіолі Джованні 128
Росс Френк 54
Рукави спіральні 256
Рух
– власний 240
– назадній 167
Сарос 107
Сатурн 193
Світло попелясте 114, 182
Світність зорі 38
Сейферт Карл 54
Секстант 69
Селенографія 138
Сидеричний період обертання 118
Скалігер Жозеф 34
Скафіс 93
Скорпіон 72
Скупчення
– галактик 272
– зоряне 250, 258

- кулясте 258
- розсіяне 258
- Слід метеорний 215
- Смуги 224
- Сонце середнє 24
- Сонячна активність 88
- Сонячна корона 86, 104
- Сонячні
 - плями 86
 - спалахи 88
- Спектральна класифікація 232
- Сполучення
 - верхнє 163
 - нижнє 165
- Спосіб Погсона 246
- Стала сонячна 85
- Стояння 166
- Стріла 64
- Субгіганти 237
- Субкарлики 237
- Сузір'я 48
- Сузір'я зодіакальні 20, 57
- Супутник геостационарний 155
- Сфера Шварцшільда 239
- Схилення світила 13
- Схід
 - акронічний 77
 - геліакічний 77
- Таласоїди 133
- Тауриди 242
- Телець 66
- Темна матерія 271
- Температура ефективна 231
- Терези 71
- Терези Всесвіту 255
- Термінатор 111
- Тимохаріс 17
- Тіло метеорне 205
- Томбо Клайд 66
- Точка
 - весняного рівнодення 10
 - заходу 10
 - осіннього рівнодення 11
 - півдня 10
 - півночі 10
 - сонцестояння 11
 - стояння 167
 - сходу 10
- Траєкторія гоманівська 200
- Транснептунові об'єкти 196
- Тріщини місячні 132
- Туманність
 - волокниста 260
 - дифузна 260
 - планетарна 239, 260
 - темна 260
- Уїлсон Р. 275
- Уран 195
- Фаза**
 - Венери 182
 - Місяця 111, 113
- Фазовий кут Місяця 111, 113
- Факели 88
- Флемстід Джон 51
- Флер 224
- Фотосфера 86
- Хаббл Едвін 62, 262
- Хаумеа 197
- Хвіст комети 218
- Хмари сріблясті 223
- Хребет гірський 131
- Хромосфера 86
- Церера** 197
- Цефеїди 242

Цефей 61

Цикл метонів 32

Цирк 130

Час

– зоряний 21,23, 28

– сонячний 23

– середній сонячний 24

– поясний 25

– всесвітній 26

– середньоєвропейський 27

– літній 27

– гринвіцький зоряний 30

Чаша 69

Число Вольфа 97

Чорна діра 239

Швидкість

– друга космічна 155

– перша космічна 154

Широта

– геліографічна 103

– екліптична 14

– селенографічна 143

Шкала Остгофа 190

Шмідт Йоганн 147

Шретер Йоган 129

Щит 72

Щілина Кассіні 193

Юліанські дні 33

Юпітер 188

Ядро

– Галактики 256

– комети 218

Ящірка 63

ЗМІСТ

<i>Передмова</i>	3
<i>Вступ</i>	
МАСШТАБИ ВСЕСВІТУ	5
1. АБЕТКА АСТРОНОМІЇ	7
1.1. Основні точки і лінії небесної сфери. Небесні координати	9
1.2. Системи лічби часу	23
1.3. Прийоми і засоби спостережень. Телескопи	34
2. ЗОРЯНЕ НЕБО. СУЗІР'Я	48
2.1. З'ясування зміни видимості сузір'їв упродовж року	56
2.2. Робота з рухомою картою зоряного неба	73
2.3. Використання зоряного годинника	79
2.4. Визначення координат спостерігача	82
3. СОНЦЕ	85
3.1. Спостереження Сонця за допомогою гномона і квадранта	89
3.2. Розрахунок і встановлення сонячного годинника	93
3.3. Наближене визначення координат місця спостереження	96
3.4. Спостереження сонячних плям	97
3.5. Дещо про обставини сонячних затемнень	103
4. МІСЯЦЬ І ШТУЧНІ СУПУТНИКИ ЗЕМЛІ	111
4.1. Рух Місяця серед зір	115
4.2. Вивчення зміни фаз Місяця	121
4.3. Фізичні спостереження Місяця	125
4.4. Реєстрація короткочасних явищ на Місяці	147
4.5. Спостереження місячних затемнень	150
4.6. Рух штучних супутників Землі	153

5. ПЛАНЕТИ ТА ЇХНІ СУПУТНИКИ	160
5.1. З'ясування особливостей руху планет відносно Сонця (конфігурації планет) та їхній рух на тлі зір	163
5.2. Передбачення положень планет на небі	170
5.3. Фізичні спостереження планет	174
5.4. З'ясування умов міжпланетних польотів	200
6. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЕПІЗОДИЧНИХ АСТРОНОМІЧНИХ ЯВИЩ	205
6.1. Метеори	205
6.2. Пошук комет	216
6.3. Спостереження сріблястих хмар і полярних сяїв	223
7. ЗОРІ. ТУМАННОСТІ. ГАЛАКТИКИ	230
7.1. Основи фізики зір	231
7.2. Фізичні змінні зорі	240
7.3. Кратні й затемнювано-подвійні зорі	250
7.4. Наша Галактика, зоряні скупчення і туманності	255
7.5. Галактики, позагалактичні об'єкти	262
<i>Список літератури</i>	276
<i>Додатки</i>	279
А. Загальні відомості	279
1-А. Грецький алфавіт	279
2-А. Деякі математичні величини	279
3-А. Деякі фізичні сталі	279
4-А. Астрономічні символи, позначення і скорочення	280
5-А. Вічний календар	281
6-А. Орієнтовні дати нового Місяця на XX–XXI століття	283
7-А. Відповідність дат мусульманського і григоріанського календарів	284
8-А. Відповідність дат єврейського і григоріанського календарів	285
9-А. Дати християнської Пасхи за новим стилем	286

10-А. Юліанські дати (J. D. — 2400000) на нульове число кожного року	287
11-А. Переведення часток доби у години, хвилини та секунди	288
12-А. Переведення годин та хвилин у частки доби	288
13-А. Перетворення проміжків сонячного середнього часу в проміжки зоряного	289
14-А. Перетворення проміжків зоряного часу в проміжки сонячного середнього	290
15-А. Схід та захід Сонця для широт 50° (за місцевим часом)	291
16-А. Поправки часу сходу Сонця для різних географічних широт	292
17-А. Азимути (в град.) точок сходу та заходу Сонця (доторкання верхньої точки диска до горизонту) . . .	293
18-А. Позірні й справжні висоти, град.	294
19-А. Середня рефракція (при температурі повітря $t = 0^\circ\text{C}$ і атмосферному тиску 760 мм рт. ст.)	294
20-А. Довготи і широти деяких міст України	295
21-А. Деякі астрономічні величини	295
Б. Сонячна система	296
1-Б. Дані про Землю, Місяць і Сонце	296
2-Б. Планети Сонячної системи	298
3-Б. Супутники планет	299
4-Б. Карликові планети	305
5-Б. Деякі малі тіла Сонячної системи	306
6-Б. Сонячні затемнення з 2001 по 2040 рік	307
7-Б. Тіньові Місячні затемнення з 2001 по 2040 рік	309
8-Б. А. Перелік деталей на поверхні Місяця	310
8-Б. Б. Перелік кратерів на поверхні Місяця в алфавітному порядку	314
9-Б. Параметри орбіт штучних супутників Землі	316
10-Б. Значення висоти ШСЗ у напрямі меридіана h_M та найкоротшої відстані h_K при $i = 65^\circ$ залежно від кутової відстані I підсупутникової точки від спостерігача	316
11-Б. Відстані від Землі, видимі кутові розміри і зоряні величини планет	317
12-Б. Деякі конфігурації сусідніх планет	317

13-Б. Основні метеорні потоки	319
14-Б. Прямокутні координати точок для побудови гномонічної сітки ($t_0 = 0^\circ$, $\delta_0 = +30^\circ$)	320
В. Зорі, зоряні скупчення, туманності й галактики	324
1-В. Назви та позначення сузір'їв	324
2-В. Рух Сонця через зодіакальні сузір'я	326
3-В. Таблиця сходу і заходу окремих яскравих зір на широті $\varphi = 50^\circ$	326
4-В. 102 найяскравіші зорі неба	327
5-В. 40 найближчих зір	331
6-В. Яскраві подвійні зорі	332
7-В. 10 зір з найбільшими власними рухами	333
8-В. 40 яскравих змінних зір	334
9-В. Галактичні розсіяні скупчення	336
10-В. Галактичні кулясті скупчення	338
11-В. Галактичні дифузні (Д), планетарні (П) і темні (Т) туманності	339
12-В. Яскраві галактики	340
13-В. Деякі скупчення галактик	340
<i>Показчик</i>	341

Навчальне видання

КЛИМИШИН Іван Антонович
ГАРБУЗОВ Геннадій Олександрович
МУРНІКОВ Борис Олександрович
КАБАНОВА Тамара Іванівна

АСТРОНОМІЯ

Навчальний посібник

Завідувачка редакції *Т. М. Забанова*
Редактор *Н. Я. Рихтік*
Технічний редактор *М. М. Бушин*
Дизайнер обкладинки *В. І. Костецький*
Коректор *Л. М. Лейдерман*

Підписано до друку 03.12.2012. Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Гарнітура «Newton». Друк офсетний. Ум. друк. арк. 20,46.
Тираж 300 прим. Вид. № 182. Зам. № 918.

Видавництво і друкарня «Астропринт»
65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 21
Тел.: (0482) 37-07-95, 37-14-25, 33-07-17, (048) 7-855-855
www.astroprint.odessa.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1373 від 28.05.2003 р.