

І.А.Климишин

**ДЕЯКІ МАТЕРІАЛИ ДО ТЕМИ
«КОНЦЕПЦІЇ СУЧАСНОГО
ПРИРОДОЗНАВСТВА»**

Івано-Франківськ, 2019

Замість анотації

Цей пропонований Читачеві матеріал його автор упродовж кількох років («наприкінці ХХ ст.») використовував при викладанні невеликого курсу «Концепцій». Однак доопрацюванню і публікації його перешкодила нагальна і вкрай важка робота над «Історією астрономії» та «Астрономічним енциклопедичним словником», що супроводжувалася ішемією судин мозку, частими втратами притомності, лікарнею. У цьому хаосі «багатоплановості» було втрачено (помилково залишено на батьківському хуторі, а мисливці взимку «грілися» і спалили) два прикінцеві підрозділи, де були «посторінкові» посилання на відповідне джерело усього рукопису. Повністю відновити це було б важкою втратою часу, певним оправданням може бути те, що в тексті є повсюдні згадки про автора того чи іншого матеріалу.

І хоча сьогодні в Інтернеті вже є більше десятка публікацій на цю тему, автор все ж сподівається, що і цей матеріал може принести певну користь. Деякі ж конкретні проблеми фізики (як ось, розмаїття ядерних реакцій, що відбуваються в надрах зір, та пов'язана з цим проблема чорних дір і нейтринної астрономії), також - космології (зокрема, типи космологічних моделей, проблема темної маси й темної енергії) тут описані надто стисло і дещо вже застаріло. Їх обговорення є, зокрема, у монографіях Й.С.Шкловського «Звезды: их рождение, жизнь и смерть», Я.Б.Зельдовича та І. Д. Новикова «Строение и эволюция Вселенной», також у нашій «Релятивістській астрономії». А головне, - у праці Латыпова Н.Н., Бейлина В.А., Верешкова Г.М. «Вакуум, элементарные частицы и Вселенная (в поисках физических и философских концепций XXI века)».

Зміст

Вступ	4
--------------------	---

I. Вихідні принципи і категорії

1. Наука і філософія; Природа як об'єкт дослідження	6
2. Пізнаваність Природи в її розвитку	22
3. Категорії простору, часу, матерії і руху	44
4. Концепції системності в природі	72

II. Світ макро- і мікрокосмосу (фізика)

5. Закони й парадокси класичної фізики	93
6. Концепції субатомного рівня	109
7. Концепція симетрії – в природі та її відображенні	136
8. Концепції вакууму. Суперсиметрія	170
9. Фізика елементарних частинок	195

III. Космос астрономічний і біологічний

10. Концепція інфляційного Всесвіту	208
11. Концепція зародження життя: проблема біохімічна і математична	231

So soll ich denn mit saurem schweiss
Euch lehren, was ich selbst nicht weiss.
Й.-В. Гете “Фауст”.

ВСТУП

Слово *концепція* походить від латинського *conceptus* – думка, поняття, а ще *сопсерсіо* – сприйняття. Отже, *йдеться про систему поглядів на певні явища, про спосіб розуміння, тлумачення цих явищ.*

Далі. *Природознавство* в сучасному розумінні – це всі галузі науки, які в сукупності займаються дослідженнями усього, що оточує нас, але і нас, людей, також. В усіх випадках тут доводиться з'ясовувати питання про можливості і межі *науки*, а також – про можливість *філософії*, її важливість, зокрема, для вченого-природодослідника.

З усіх галузей природознавства провідними, визначальними є три: фізика, астрономія і біологія. Можна уточнити: в наш час ця друга в іпостасі *космології* фактично вже зливається з *фізикою* – як *космомікрофізика*, даючи нам конкретні дані про “колись здійснений грандіозний фізичний експеримент”. Бо ж унаслідок його і появилось в навколишньому світі, зокрема, усе розмаїття наявних тут елементарних частинок. *Біологія* всебічно й детально вивчає весь навколишній світ живих форм включно з питанням про їхнє походження, їхню появу на нашій планеті.

Прослухавши цей невеликий курс, слухач мав би сам визначити, наскільки правильним є твердження **Віктора Гюго** (1802 – 1885): “Просуваючись уперед, наука безперестанно перекреслює саму себе”. Як також щодо слів **Карла Маркса** (1818 – 1883): “Природознавство – це хитрість, що має метою підкорити природу людським потребам”...

А що в підготовці усього цього матеріалу довелося переглянути багато філософських матеріалів, то в одному з них, у монографії **Н.Ірибаджаква** /ІР/ на с. 101 виявив таке: “Часто він казав (на лекції, студентам) щось типу “Я дурень”, “Сьогодні

я дуже дурний”, “У вас жахливий учитель”, іноді висловлював сумнів, чи може взагалі продовжувати лекцію”. Але! Йдеться ж про найвидатнішого філософа ХХ ст. **Людвіга Вітгенштайна** (1889 – 1951)!.. Сприймаємо це як своєрідний евристичний прийом – як заклик привернути увагу до певного питання! Адже багатьом у майбутньому доведеться повторювати оті слова із «Фауста» “Я мушу проливати піт важкий, щоб вас навчить того, чого не знаю сам...”.

Як і в попередніх своїх книгах (зокрема, “Открытие Вселенной”, “Історія астрономії”) автор цих рядків серед багатьох навчальних посібників і монографій намагався віднайти такі, де є конкретні і зрозумілі всім визначення чи з’ясування окремих питань І - подати їх, з посиланням, річ ясна, на першоджерело. Однак, у деяких випадках, на превеликий жаль, це зробити не вдається. Тож доводиться повторювати слова **Монтеня**: тут зібрано чужі думки, наче квіти в букет.

І ще таке зауваження. Тут йтиме мова про головні принципи, що є основою сучасного природознавства, які стають певними орієнтирами для майбутнього дослідника. Тож для роздумів доречно навести слова відомого драматурга-пересмішника **Бернарда Шоу** (1856 – 1950): “Кажуть, якщо вмити кішку, то вона потім вже ніколи не буде вмиватися сама. Не знаю, правда це чи ні, але певне одне: якщо людину чогонебудь вчити, то вона цьому ніколи не вивчиться... Тому якщо хочете, щоб ваша кішка була чистою, вилийте на неї ківш бруду: вона негайно почне так запопадливо вилизуватися, що стане чистішою, ніж раніше”. Тобто – студент (учень) має вчити себе сам!

Незайвим тут буде зауваження і щодо пошуків нових прийомів та методів навчання. Ось, зокрема, що писала в ж. “Вопросы философии” (ч. 10 за 1996 р.) **Н.С.Юліна**: “Країни, які вперто зберігають традиціоналістські форми передачі знань підростаючим поколінням, у майбутніх громадян закладають синдром цивілізаційної неадекватності... Сьогодні людство... свідомо звертається до випереджуючих адаптаційних можливостей освіти. Не випадково ХХІ ст. **ЮНЕСКО** оголосило

“Століттям освіти”... У новій освітній парадигмі головний акцент робиться не на засвоєння інформації або готового знання, що нині, враховуючи все зростаючу зливу знання, фізично неможливо, а на *РОЗВИТОК МИСЛЕННЯ*, ... щоб зробити свідомість людини гнучкою, відкритою для незвичного, яке може “підкинути” наступне століття... Старий лозунг “Знання – сила” поглинається ширшим: “Розумність є силою”.

Маємо сподівання, що цей текст надихне слухача/читача на реалізацію вимог ХХІ ст., яке вже є сьогоднішнім...

1. ВИХІДНІ ПРИНЦИПИ І КАТЕГОРІЇ.

1. Наука і філософія, їхній стосунок до природи як об’єкта дослідження

“НАУКА – це система понять про явища і закони зовнішнього світу і духовної діяльності людей, яка дає можливість передбачення і перетворення дійсності в інтересах суспільства”.

Слово *наука* буквально означає *знання* – достовірні відомості про матеріальні і духовні явища, правильне їх відображення у свідомості людини. При цьому наукові знання – це не лише констатація фактів та їх опис, а й *пояснення фактів*, осмислення їх у всій *системі понять* певної науки... Наукове пізнання відповідає на питання не лише *як*, а й *чому* відбувається те чи інше явище саме таким чином. Суть наукового знання у достовірному узагальненні фактів, у тому, що за випадковим воно знаходить необхідне, закономірне, за поодиноким – загальне, і на цій основі здійснює передбачення різних явищ, об’єктів і подій...

Кожна наука мав свій етап формування. Але критерій формування тут є спільним: 1) визначення предмета дослідження, 2) вироблення понять, які відповідають цьому предмету, 3) встановлення фундаментального закону, притаманного цьому предмету, 4) відкриття принципу або створення теорії, які дозволили б пояснити багато фактів.

Відображення дійсності в науці здійснюється у формі **понять і категорій**... Особливі методи :

- 1) безпосереднє **спостереження** явищ у природних умовах;
- 2) **експеримент**, коли явище відтворюється штучно;
- 3) **порівняння; вимір** – частковий випадок порівняння, коли знаходять *кількісне відношення* (виражене числом) між невідомим і відомим об'єктом;

4) **індукція і дедукція**, за допомогою яких логічно узагальнюються емпіричні дані і виводяться логічні наслідки;

5) **аналіз і синтез** – дозволяють розкрити закономірні зв'язки між об'єктами (їх частинами) шляхом їх *розчленування і відтворення з частин*.

Специфічні способи і методи досліджень:

1) метод **аналогії** – розкриття єдності різних явищ, єдності в їх сутностях, спільності в їх законах (застосовується в кібернетиці, при моделюванні та ін.);

2) метод **формалізації** – узагальнення форми різних за своїм змістом процесів, абстрагування їх форми від змісту з метою вироблення загальних прийомів оперування з нею;

3) метод **математизації** – вивчення та узагальнення кількісної сторони;

4) метод **моделювання** – моделюється суть явища.

Варте уваги: наукове пізнання розвивається прискореними темпами. Наука рухається вперед пропорційно масі знань N , успадкованих від попередніх поколінь, що математично відображається так

$$dN = Ndt \quad \text{і} \quad N = N_0 e^{t/a}$$

На 1965 р. число наукових співробітників на Землі сягало 2 млн. чол. Обсяг наукової продукції подвоюється за кожні $a = 10$ років. Частішають випадки дублювання наукових відкриттів і винаходів. До кінця ХХ ст. кількість наукових журналів і періодичних видань, мабуть, наблизиться до одного мільйона”.

ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ НАУКИ заслуговують окремого обговорення. Повторюючись, перелічимо етапи наукових досліджень так:

- 1) **фактологічний** – збір, перевірка і систематизація фактів;
- 2) **аналітичний** – вивчення взаємозв'язків між фактами і з'ясування причин, які на них впливають, і
- 3) **синтетичний** – узагальнення результатів і встановлення основних законів цієї галузі науки.

Отже, у структурі наукового знання виділяють два рівні: **емпіричний** і **теоретичний**. У *першому* дані спостережень формуванням описують певною мовою з узагальненням спостережень, із уявлення про науковий факт як особливий тип знання, встановлюють емпіричну залежність між параметрами.

Логічне осмислення даних спостережень й певне узагальнення є фактично виявом *індукції*. Таке знання, як відомо, є *імовірнісним*. І тут доречно навести слова **Анрі Пуанкаре** (1854 – 1912): “Вчений повинен систематизувати факти. Наука складається з них подібно до того, як будинок з цеглин. Однак просте нагромадження фактів схоже на науку не більше, ніж купа цеглин на будинок”.

У *другому*, теоретичному рівні, узагальнення емпіричних даних приводять до формулювання певної *гіпотези*, до встановлення *закону*. Знання отримує ранг *достовірного*. У фізиці його доводять до *математичного співвідношення* між параметрами задачі.

Однак просте нагромадження фактів – цей своєрідний індуктивний підхід – не робить емпіричні залежності достовірними. Як кажуть, теорія не будується шляхом індуктивного узагальнення. З цього приводу **А.Айнштайн** сказав: “Цей висновок – один із найважливіших гносеологічних уроків розвитку фізики ХХ ст.”.

Щоправда, і таке знання іноді ледве не зразу може бути кимсь застосоване для ширшого осмислення картини світобудови, як про це влучно висловився **О.О.Фрідман** (1888 – 1925): “Якою б нікчемною не була сума людських знань,

завжди... з'являлися мудреці, які намагалися на підставі цієї найменшої кількості наукових даних відтворити картину світу”.

Цікавим є питання про *вікові можливості* “у принципі” учених здійснити істотний внесок у формулювання нових, ідей, здійснення певних узагальнень, зрештою – відкриття, встановлення нового закону. Як виглядає, відповідь така: найрезультативніший вік ученого, принаймні фізика, – 30 років (при цьому згадують **А.Айнштейна**, **Е.Резерфорда** і багатьох інших). Ще одним є питання про вирішальність факту “організації пошуку” – включення або ж ні певної теми в план науково-дослідної установи. Ось результати дослідження, проведеного у США: **нові ідеї запропонували**

63,5 % – вчені, які вели пошук з власної ініціативи (“як допитливі”);

28,8 % – ті, хто здійснював “орієнтований пошук”, і

7,7 % – розробки, що були наперед націлені на конкретну, наперед визначену тему, за програмою науково-дослідної організації.

Тож немаловажним є питання про форми організації колективів учених для проведення наукових досліджень, а ще – можливості отримання ними певних коштів – *грантів*. Не випадково закордоном основна дослідницька робота зосереджена в навчальних закладах – в університетах. Бо – проводячи викладацьку роботу, учений уже тим самим себе частково реалізує як особистість і легше зносить ті чи інші невдачі (“типова приказка: теоретик 98 % своїх зусиль викидає, у формі списаних листків паперу, в смітник”). А ще: на семінарських заняттях він мав змогу почути від студентів, скажемо образно, сто безглузвих питань, але сто перше було слухним і стало імпульсом для роздумів. Тим часом в колишньому СРСР і країнах “соціалістичного табору” сітка НДІ була надто великою (число спеціалістів вищої кваліфікації в НДІ і вузах, здається, сягало співвідношення 50 на 50 відсотків). Не випадково після приєднання Східної Німеччини до Західної там проведено реформу системи НДІ: кількість співробітників НДІ

зменшено на $\frac{3}{4}$, як було сказано “для приведення у відповідність із традицією, що існує на Заході”.

За даними акад. **Ф.Кислого**, на 18.02.1993 р. в Україні було бл. 8500 докторів наук, з них у вузах працювало 7000, в системі НАН 1000 і в інших НДІ – 1500. Отже це, орієнтовно, – 75 на 25 відсотків.

ФІЛОСОФІЯ, за одним із визначень, – це “особливий вид інтелектуальної діяльності”, це “сума поглядів на світ, але і цілісне уявлення про світ і місце людини в ньому”. Вона “аналізує взаємовідношення світу і людини, щоб знайти місце і призначення людини”.

Ширше з’ясування візьмемо з книги **Г.Г.Кириленка** і **Є.В.Шевцова**: “Філософія – теоретична форма знання, однак позбавлена звичних ознак спеціальних наук... Про звичне філософія розповідає незвичною мовою. Філософія виростає з потреби людини віднайти стійкість, міцність буття і сама ж своїм сумнівом руйнує цю стійкість. Нарешті філософія розповідає про все загальне, але відповідає на запити окремої особистості...”

В якості теоретичної дисципліни філософія має декілька підрозділів. Традиційно вона включає *онтологію* (від гр. *онтос* – буття, *логос* – вчення) – вчення про буття, *аксіологію* (від гр. *аксіос* – цінність) – вчення про цінності. Іноді виділяють *соціальну філософію* і *філософію історії*, а також *філософську антропологію* (від гр. *антропос* – людина).

Німецький філософ **В.Вундт** (1832 – 1920) поділив філософію на сукупність генетичних і систематичних дисциплін. Ці перші включають вчення про пізнання, яке складається з формальної частини (*логіка*) і “реальної” (*теорія пізнання*), Об’єднавшись, вони дають початок виникненню *методології науки*. Систематичні дисципліни – це вчення про принципи і включає *філософію природи* (*космологія, біологія, антропологія*) та *філософію духа* (*етика, правова філософія, естетика, релігійна філософія*)...

Філософ бере на себе сміливість дотикатися до будь-якої сфери діяльності, до будь-якого предмета, будь-якого поруху

людської душі – для філософа немає заборонених тем... умова одна – будь-яка тема роздумів має бути формою пошуку тої цілісності, осколком якої ми себе відчуваємо, ... філософія – інтерпретаційне знання... філософ кожен раз переосмислює схеми вирішення “вічних питань”, наповнює їх реаліями своєї епохи, своєї культури, свого життя...

У будь-якій науці її основне питання в основному співпадає з предметом. У філософії справа дещо інакша. Кожен філософ виділяє ті питання, які він вважає основними для себе і всієї філософії. Для **Ф.Бекона** головним було питання про розширення могутності людини над природою, для **Гельвеція** – про сутність щастя, для **Руссо** – причини соціальної нерівності, для **Канта** – про сутність людини, для **Кам'ю** – питання про смисл життя... за **Енгельсом** – це “питання про відношення мислення до буття”...

Вирішити свої “людські”, життєві проблеми людина як носій філософського розуму може двома способами: або визнати пріоритет одної із сторін світоглядного протистояння, або шукати точки їх об'єднання.

Основне питання філософії, таким чином, це *ціннісно-сміслова* домінанта філософії як “життєвого розуму”. Він розкриває саме таку спрямованість філософії, її намагання знайти шлях до розв'язку основної людської проблеми – “бути чи не бути”.

Основне питання філософії не співпадає цілковито з предметом філософії. Предмет філософії – це дослідження усієї різноманітності принципів взаємовідношення людини і світу. Він наче видає таємницю філософії, дозволяє за безстрашною абстракцією побачити обличчя страждаючої і мислячої людини, дозволяє відчути її заповітне бажання “бути”. Поняття “людина” не співпадає з поняттям “ідеальне”, людина – це єдність матеріального та ідеального, тіла і духа. “Світ” не співпадає з поняттям “матерія”... Основне питання виявляє основний розлад у взаємовідношеннях людини зі світом, приховану вихідну опозицію, що її людина намагається здолати...

Основне питання філософії наче стоїть на сторожі її “чистоти”, не дозволяє їй розчинитися в інших формах духовної діяльності, оскільки формулюється в гранично загальних поняттях. Тим самим основне питання задає *рамки* філософського дослідження...”

А ось ще декілька думок з книги згаданих авторів: “Людина є не лише проблема філософії, вона – проблема для самої себе. Філософія нічого не вирішує за людину. Вона лише організовує простір індивідуального вибору, надає “інтелектуальні інструменти” самопізнання. Доля, щастя, смерть, смисл життя – ось ті координати життєвого світу, які завжди були предметом філософських роздумувань і водночас концентрують у собі людські страхи, надії, мрії...”

... у XIX ст. були спроби розглядати філософію як науку, яка розкриває загальні принципи світобудови... **Гегель** вважав, що його філософія може диктувати свої висновки спеціальним наукам, оцінювати їхні досягнення, а в окремих випадках навіть повністю їх замінювати... А все ж таки в XIX ст. “ясний як Сонце” образ філософії як загальної системи знань про світ і водночас як універсального методу пізнання затьмарився. Значний внесок у справу руйнування так монолітного образу філософії вніс **I.Кант**... Дальший критичний аналіз філософії показав, що вона не лише не має права іменуватися “наукою наук”, але, можливо, до неї незастосовні загальноприйняті критерії науковості взагалі.

Філософські положення неможливо не ляше підтвердити на досвіді (верифікувати), але навіть відкинути (“фальсифікувати”). Так, твердження про те, що в основі всього існуючого лежить духовне начало, або ж, навпаки, щось матеріальне, жодним чином неможливо співставити з дослідом, перевірити...

Вихідні положення філософських концепцій формулюються за допомогою гранично загальних понять, тому їхню істинність

неможливо довести за допомогою якоїсь іншої теорії – більш загальної теорії просто не існує...”

ПРО СПІВВІДНОШЕННЯ ФІЛОСОФІЇ І РЕЛІГІЇ:

“Традиційно філософія завжди була близькою до релігії. Поняття Бога в багатьох філософських системах є центральним. Так, без ідеї Бога, на думку **Р.Декарта**, неможливий сам процес пізнання. Однак Бог філософа – це не Бог віруючого, чия віра не знає сумніву. Філософське мислення критичне, філософ іноді сумнівається в основах власної концепції. Ідея Бога у філософії найчастіше є абстракцією, символом непізнаванного, досконалого, вічного. Філософія своїми засобами здатна обґрунтувати не існування “Бога живого”, а лише необхідність присутності ідеї Бога в людській культурі, у свідомості кожної людини. Як висловився філософ **М.Унамуно**, філософія – це “голод за Богом”...

“Таким чином, філософія розповідає щось про світ, але не є звичайною наукою, вирішує “людські” питання, але відокремлює себе від моралі, не може обійтися без поняття Бога, але не є релігією... Як висловився англійський філософ **Б.Рассел**: філософія, як і теологія, полягає в спекуляціях з приводу речей, недосяжних для розуму. Але, як і наука, філософія апелює до людського розуму, а не до Божественного Одкровення. Філософія – це “Нічия Земля”, яка піддається атакам з усіх боків”...

І ще: “Філософія, за словами **Х.Ортега-і-Гассета**, це – життєвий розум”, це вираження найвищої потреби розуму як частини людського життя обґрунтувати своє власне існування. Філософ опирається на свої власні сили, він використовує “людський інструмент” – розум... Він знає лише те, що нічого не знає. “Це знання про власне незнання надає людині особливу велич, перетворює її в божественну тварину, обтяжену тягарем проблем”.

В монографії **В.У.Бабушкіна** “Про природу філософії” зібрано низку висловлювань щодо філософії типу “Сумнівність філософії у наш час ледве чи кимсь заперечується” (**Ф.**

Аустеда), “Стало майже банальним, що філософи не знають, чим є філософія і навіщо вона потрібна” (Дж.Уїсдом), “Сьогодні філософія компетентна лише у визнанні своєї некомпетентності” (О.Марквард), “Сучасна філософія характеризується радикальною полемікою зі своїми власними основами” (Л.Ландгребе), “Науку слід визначити як “пошук істини”, а філософію як “пошук смислу”... Філософія не може бути наукою, бо в неї немає свого предмета дослідження” (М.Шлік), “Філософія – не теорія, а діяльність” (Л.Вітгенштайн), “Між Сциллою спекуляцій метафізики і Харибдою теоретичних побудов науки слід прокласти шлях, який дозволяє мати справу із самою реальністю, із самими речами, шлях, завдяки якому філософ міг би виходити з “початкового досвіду” (Е.Гуссерль), “Філософія – це мистецтво, а не наука” (А.Шопенгауер).

ФІЗИКИ ПРО ФІЛОСОФІЮ. Заради справедливості слід зауважити, що ті, хто назвався філософом, неодноразово висловлювалися, так би мовити, неадекватно. Започаткував цю сумну традицію ще **Сократ**, кажучи: “Про все, що в тебе над головою, не розмірковуй... Усе це назавжди залишиться таємницею для смертного”. Особливо ж прикро конкретизував “філософський підхід” до намагання людини вивчати світ французький філософ **Огюст Конт** (1798 – 1857): “Ми нічого не можемо дізнатися про зорі, крім того, що вони існують. Ми уявляємо собі можливість визначення їх форми, відстаней, розмірів і рухів, але ніколи, ніякими способами ми не зможемо вивчити їхній хімічний склад... Я залишаюся при своїй думці, що будь-яке знання істинних температур зір неминуче повинно бути назавжди приховане від нас”. Тому, на думку Конта, заняття астрономією – це “марна трата часу, яка не може дати ні корисних, ні цікавих результатів”.

Тож не дивно, що зі свого боку, фізики (та й астрономи) висловилися про філософію не менш категорично. Як ось, німецький теоретик, лауреат Нобелівської премії **Макс Борн** (1882 – 1970): “Я вивчав філософів усіх часів і зустрів у них багато яскравих ідей, але не зміг зауважити ніякого стабільного

прогресу до глибшого пізнання чи розуміння суті речей”. Або американський фізик-теоретик, лауреат Нобелівської премії **Річард Фейнман** (1918 – 1988): “Не може бути, щоб цей рух уперед (відкриття нових законів) тривав вічно... нарешті настане час філософів, які увесь час стояли збоку, роблячи дурні зауваження...”

Але як тільки всі закони стануть відомими, вони зможуть придумати для них пояснення”. А ще: “Філософи часом багато висловлюються про речі, вкрай необхідні науці, і це завжди, як можна в цьому переконатися, дуже наївне і, за всіма ознаками, помилкове”.

Найвиразніше про це ж сказав видатний англійський фізик **Стівен Хокінг** (1942 -), описуючи у травні 1992 р. “як розуміти Всесвіт, який стан і значення теорії всього”: “Люди, які повинні вивчати ці питання і відповідати на них, – філософи – у більшості своїй не мають достатньої математичної підготовки, щоб встигати в гонитві за сучасними досягненнями теоретичної фізики. Існує група, що зветься філософами науки, які мали б бути більше підкованими. Але багато з них – фізики, які не реалізували себе, яким здалося дуже важкою справою розробляти нові теорії, і замість цього вони пишуть про філософію фізики. Вони, як і раніше, сперечаються про наукові теорії початку століття і не заторкують передових рубежів сучасної фізики...”

Ті, хто справді просунувся у теоретичній фізиці, мислять зовсім не тими категоріями, які безперервно придумують для них філософи та історики науки. Я впевнений, що Айнштайна, Гайзенберга і Дірака не турбувало, чи вони реалісти чи інструменталісти. Їхньою турботою було лише те, що наявні теорії не стикувалися одна з одною. У теоретичній фізиці для просування вперед пошук логічної послідовності завжди був важливішим, ніж експериментальні результати. Багато чудових теорій було відкинуто, оскільки вони не узгоджувалися зі спостереженнями, але я не знаю жодної серйозної теорії, яка б просунулася лише на основі експерименту. Теорія завжди приходиться першою, вона виникає з бажання отримати струнку

математичну модель. Після цього робляться припущення, які перевіряють спостереженнями. Якщо спостереження узгоджуються із припущеннями, то це не підтверджує теорію, але вона залишається жити, щоб зробити нові припущення, які знову перевіряють спостереженнями. Якщо спостереження суперечить припущенню, теорію відкидають”.

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

Слабким місцем є те, що наукова картина світу складається внаслідок поширення досягнень науки далеко за межі можливих у кожен епоху спостережень і дослідів. Тому й настають моменти часто навіть болісні, коли, щоб узгодити її з новими науковими фактами, її необхідно ламати, замінювати іншою. В астрономії, скажімо, це проявлялося як звільнення від **антропоцентризму** – від уявлення, нібито людина перебуває у центрі світобудови. На першому етапі – переконання, нібито Земля плоска, змінилося уявленням про її кулястість. Далі з “центра світобудови” вона “стала” однією з планет Сонячної системи і “почала” рухатися навколо Сонця. Згодом з’ясувалося, що Сонце розміщене не в центрі Галактики, а ледве не на її окраїні. Нарешті, було з’ясовано, що за межами нашої Галактики є незліченна кількість таких же велетенських зоряних систем, що цей світ галактик до того ж “розлітається” (розширюється) у всіх напрямках.

Щоправда, зміна одних уявлень на інші відбувалася дуже повільно. Скажімо, перехід до уявлення про кулястість Землі розтягнувся в часі ледве не на півтори тисячі років, чи не до X ст. н.е. Можливо, стільки ж часу тривало обговорення питання

про можливий рух Землі у просторі. Як відомо, ще **Архимед** (бл. 287 – 212 рр. до н.е.) у своїй праці “Псамміт” (“Підрахунок піщинок”) писав про **Аристарха Самоського** (бл. 310 – 230 рр. до н.е.) таке: “Він припускає, що нерухомі зорі і Сонце не змінюють свого місця у просторі, що Земля рухається по колу навколо Сонця, яке перебуває в його центрі”.

Про те ж писав і римський філософ **Сенека** (бл. 6 до н.е. – п. 65 н.е.): “Важливо було б дослідити, чи світ обертається навколо Землі, яка залишається нерухомою, чи Земля крутиться, тоді як світ стоїть. Знаходяться люди, які твердять, що нас несе природа, а ми цього зовсім не зауважуємо, що схід і захід світил відбувається не від руху неба, а від того, що ми самі то сходимо, то заходимо відносно їхнього піднесення на небосхилі. Ця задача гідна наших розмірковувань, бо ми повинні знати, у якому стані перебуваємо: чи приречена доля нашу Землю на вічний спокій, або ж, навпаки, вона обдарувала Землю швидким рухом; чи змусили боги всі небесні тіла кружляти навколо нас або ж ми самі навколо них обертаємося”.

Як бачимо, *не погоджувалася людина зі, здавалося б, переконливими досвідними даними, з відчуттями кожного*, бо ж ні обертального, ні поступального руху Землі *ніхто* не відчуває! Тож доводиться зробити висновок: *є в людини дивне устремління з'ясувати “стан речей” у Природі, є певна інтуїція, яка в поєднанні зі здоровим глуздом накреслює перед нею величну Картину світобудови, що є навіть суперечливою з відчуттями*. І не випадково (хоч можна дивуватися з цього) “Сфера світу” англійського вченого **Сакробоско** (**Джон Халівуд**, бл. 1200 – 1256) – здавалося б, простий виклад понять сферичної астрономії та опис руху планет – стала другою (після Біблії!) книгою, опублікованою друкарським способом. Як і тому, що, враховуючи її переклади на майже всі європейські мови, її тиражували упродовж століть ледве не кожного року...

Доречно згадати і декількох вчених XIV – XV ст., які вимовили такі ж сміливі думки, що не вкладалися в рамки тодішнього світогляду. Скажімо, ректор Паризького університету **Жан Буридан** (1300 – 1358) писав: “Передусім є

серйозний сумнів у тому, що Земля міститься безпосередньо у центрі Всесвіту... Багато людей, як відомо, вважали ймовірним, що рух Землі по колу певним чином не суперечить загальноприйнятому і що кожен звичайний день вона здійснює повний оберт із заходу на схід...” Підтримав цю думку його учень **Микола Орем** (1323 – 1382): “Я заявляю, що, по-перше, неможливо довести протилежне за допомогою будь-якого досліду, по-друге, за допомогою роздумувань і, по-третє, я наведу міркування на користь цієї думки”.

Сміливий крок в осмисленні навколишнього Всесвіту зробив видатний німецький філософ, учений і теолог (з 1448 р. – кардинал) **Микола Кузанський** (1401 – 1464), автор твору “Про вчену неграмотність” (написаний 1440 р. і надрукований 1488, перевидано 1514 і 1565 р.). Читаємо: “Земля не може перебувати у центрі Всесвіту, оскільки Всесвіт має свій центр скрізь, а своє коло ніде” (так визначено безмежність Всесвіту!). Стосовно речовини, з якої складається Земля і небесні тіла, то “між ними немає ніякої різниці”, бо Земля – таке ж небесне тіло, як Сонце, Місяць та інші світила. Що “ні одна із зоряних ділянок не позбавлена мешканців”, що “Земля насправді рухається, хоча ми цього не помічаємо”. Зі знайдених недавно рукописів **Леонардо да Вінчі** (1452 – 1519) видно, що і він був сміливим, прозорливим мислителем, який також вважав Землю таким же небесним світилом, як Місяць та інші планети, дотримувався думки про рух і добове обертання Землі, здогадувався, що кожне світило має власний центр притягання, а головне: увесь Всесвіт є гігантським механізмом, який підкоряється суворим законам, бо “Природа керується законами, які споконвіку існують у ній самій”.

Тож стає очевидним: трагедія **Джордано Бруно** і драма **Галілео Галілея** були головним чином обумовлені і політичними причинами, і особливостями їхнього характеру. Про це автор детально описав в іншому місці.

Принагідно згадаємо і двох вітчизняних учених. **Феофан Прокопович** (1681 – 1736), захищаючи ідеї Коперника і Галілея, писав: “Коли учні Коперника й інші вчені, що захищають рух

Землі, можуть навести на підтвердження своєї думки достовірні фізичні і математичні докази, то тексти Св. Письма, в яких говориться про рух Сонця, не можуть бути для них перешкодою, бо ці тексти слід розуміти не в буквальному, а в алегоричному смислі” (цікаво: про явище аберації, відкрите Брадлеєм у 1727 р., Прокопович, найімовірніше, ще не чув; отже насправді жодних “достовірних доказів” учені тоді якраз ще не мали, але яке глибоке переконання в правильності цих наукових ідей!). **Григорій Сковорода** (1722 – 1794): “Коперник є найновішим астрономом... Нині його систему... план або типік небесних кругів увесь світ прийняв”. А ось погляд цього філософа на Всесвіт: “Природа (матерія) є первісна всьому причина і саморухома пружина”. Він переконаний, що світи незліченні, що Всесвіт вічний, він завжди існував у просторі і часі і його ніхто не створив: “Коли мені скажеш, що зовнішній світ в якихось місцях і часах скінчиться, маючи покладену собі межу, і я скажу, що скінчиться, одночасно починаючись. Бачиш, що одного місця межа є одночасно дверима, які відкриваються в поле нових просторів”. В діалозі “Потоп змії” читаємо: “Світ цей і всі світи... вони незчисленні... і давно вже розумні сказали... вістку оцю *materia aetera* (матерія вічна)”.

НАУКА І РЕЛІГІЯ. Маємо чітко усвідомити: доки вчений проводить дослідженню конкретних граней наявних у нашому матеріальному світі об'єктів, він, образно кажучи, “матеріаліст”. Проблема “є Творець цього світу чи Його немає?” виникає, коли з'явиться потреба дати відповідь на питання щодо *першооснови буття*. Але, знову ж таки образно кажучи, ці питання “відсунуті” аж “на горизонт”. І все ж видатні вчені вважали своїм обов'язком з цього приводу висловитися цілком однозначно. Ось приклади:

Галілео Галілей (1564–1642), італійський астроном: “Прогрес астрономії помножує в наших душах хвалу Богові”.

Ісаак Ньютон: “Таке витончене поєднання Сонця, планет і комет не могло статися інакше, як за наміром і владою могутньої та премудрої істоти, яка... керує усім світом не як душа світу, а як

Володар Всесвіту. Бо... від сліпої необхідності природи, яка скрізь і завжди одна і та сама, не може відбуватися зміна речей”. І ще: “Чи було збудоване око без розуміння оптики, а вухо без знання акустики? Яким чином рухи тіл підкоряються волі і звідки інстинкт у тварин?.. І якщо Він вчинив так, то не слід філософії шукати інше походження світу або покладати, що світ міг виникнути з хаосу, лише за законами природи...”

Вільям Гершель (1738–1822), англійський астроном: “Немає нічого більш нерозумного, ніж закид, нібито наукові дослідження підводять до сумнівів у справі об’явленої релігії. Можемо запевнити кожного, що вплив природничих наук на кожен неупереджений розум є якраз цілком протилежним”. І ще: “Чим більше розширюється поле науки, тим чисельнішими і переконливішими стають докази того, що існує творча і могутня Мудрість. Геологи, математики, астрономи, природодослідники – усі вони разом зносять каміння, щоб збудувати Богові велику й гідну Творця святиню”.

Артур Комптон (1892–1962), американський фізик, лауреат Нобелівської премії 1927 р.: “Наука не лише не є суперечною з релігією, але на наших очах вони стають союзниками. Глибше пізнаючи природу, ми ближче знайомимося з Богом природи і з тією роллю, яка нам призначена в Його космічній драм”.

Макс Планк (1858–1947), німецький фізик, Нобелівська премія 1918 р.: “Ніде, куди б не звертався наш погляд, яким би не був предмет нашого дослідження, ми не знаходимо суперечностей між релігією і природничими науками, ми швидше констатуємо їхню абсолютну гармонію в основних пунктах. Релігія і наука зовсім не виключають одна одну, як це поклали раніше і чого бояться наші сучасники. Навпаки, вони погоджуються і доповнюють одна одну. Найбезпосереднішим доказом сумісності релігії і природознавства, навіть при найкритичнішому погляді на речі, очевидно, є той факт історичний, що глибокою релігійністю були проникнуті якраз найбільші природодослідники усіх часів – Кеплер, Ньютон, Лейбніц...”

Альберт Айнштейн (1879–1955), Нобелівська премія 1921 р.: “Вірую в єдиного Бога і з чистим сумлінням можу сказати, що ніколи не відчував симпатії до атеїстів. Людство без релігії перебувало б у варварському стані свого розвитку... Релігії, мистецтва і науки – це три вітки одного дерева. Усі ці устремління спрямовані до облагороджування життя людини, до того, щоб вивести індивіда зі сфери суто фізичного існування у сферу свободи». І ще: “Кожний серйозний природодослідник повинен бути якимсь чином людиною релігійною. У безконечному універсумі проявляється діяльність безконечно досконалого Розуму. Якщо уявлення про мене як про атеїста взяте з моїх наукових праць, то можу сказати, що моїх робіт не зрозуміли”.

Альфред Кастлер (1902–1988), французький фізик, Нобелівська премія 1966 р.: “Я не можу зрозуміти світ без Творця, тобто без Бога”.

Анрі де Шательє (1850–1936), французький хімік: “Суперечність між релігією і наукою знаходять у сучасній літературі лише люди, які не є справжніми вченими, але переважно напівінтелігенти, бо деяким із них зовсім бракує ознайомлення з природничими науками”.

Поль Сабатьє (1854–1941), французький хімік, Нобелівська премія 1941 р.: “Природничі науки і релігію протиставляють одні одній лише люди, які погано освічені як у першому, так і в другому”.

І заключне:

Таки не даремне сказав апостол **Павло**: “Бо його невидиме від створення світу, власне Його вічна сила й Божество, думанням про твори стає видиме” /Рим. 1: 20/.

І ще:

– “Справді, дурні з природи всі ті люди, які не пізнали Бога, які через видимі блага не змогли пізнати Суцього і, розважаючи над творами, не дійшли до визнання Майстра” /Мудр. 13:1/.

– “Спитай у тварин, і вони навчать тебе, у птахів небесних, і сповістять тобі, хто з них усіх не знає, що рука Господа

створила все це” /Лов, 12: 7-9/.

– “Я бачив те заняття, що Бог дав людям, щоб вони ним клопоталися. Усе Він створив гарним у свій час, тай вічність Він вклав їм у серця, одначе так, що людина не може збагнути діл, які творить Бог, від початку до кінця” /Екл. 3: 10-11/.

2. Пізнаванність Природи в її розвитку

РОЛЬ ЛОГІКИ. Усвідомивши себе, людина віддавна намагалася збагнути своє місце у Світі. Цю ситуацію іноді описують так: “Людина задає питання і Природа їй відповідає” – однак не завжди її можна зрозуміти: мова Природи математично стає все складнішою!

Р.Фейнман образно зауважив: “Світ є наче велетенськими шахами, в які грають боги. Ми слідкуємо за їхньою грою, але правил гри не знаємо. А саме вони, ці правила гри, і є фундаментом сучасної фізики”.

Упродовж двох тисячоліть, з часів **Аристотеля**, розмірковування про всі явища в світі європейці вкладали згідно з правилами (законами) *формальної логіки*.

Три із чотирьох **законів логіки** зформульовані ще Аристотелем. Перший – **закон тотожності** (формула: “ $A \in A$ ” – “поняття при обговоренні має вживатися в одному і тому ж значенні”). Другий – **закон суперечності** (“ A не є не- A ” – “дві протилежні думки про один і той же предмет не можуть бути одночасно істинними”). Третій – **закон виключення третього** (“ $B \in$ або A , або не- A ” – “дві суперечливі думки про один і той же предмет не можуть бути одночасно ні істинними, ні хибними, одна з них істинна, друга обов’язково хибна”). Четвертий, **закон достатньої підстави**, зформулював **Г.-В. Ляйбніц** (1646 – 1716): “Якщо існує B , то є, як його достатня підстава, A ”, тобто “Будь-яке істинне судження повинно мати свою достатню підставу”).

Німецько-американський філософ **Еріх Фромм** (1900 – 1980) співставив особливості світосприймання європейців і народів Азії. У цих других буття базується на так званій **парадоксальній логіці**, за якою два суперечливі твердження про якийсь предмет не виключають одне одного: азієць каже “ $B \in A$ і не- A ”. Можна дивуватися, але в ХХ ст. такий парадоксальний підхід підтверджено науково: адже найдрібніша порція світла, квант, є, з одного боку, частинкою, але з іншого – хвилину, тобто не-частинкою. Те ж стосується й інших елементарних частинок (див нижче).

Формальну логіку (так її назвав І.Кант) іменують ще **класичною**, а також **двозначною**. Адже тут кожне висловлювання або істинне, або хибне, що і є *принципом двозначності*. З 20-х років ХХ ст. розпочалася побудова *багатозначних* логік, які допускають більше двох істинних значень; при інтерпретації приймають значення “неозначене”, “можливе”, “безглузде”. Частковим випадком є **тризначна логіка**, за якою висловлювання може бути істинне, хибне, парадоксальне. Однею з найважливіших віток некласичної логіки є **інтуїціоністська** і близька до неї **конструктивна логіка**, в яких (та й в інших) *не діє закон виключення третього*. У **модальній логіці** у висловлювання включена оцінка, подана з певної точки зору за формулою “ $M(S \in P)$ ”. Замість M приймають конкретизоване: “можливо”, “добре, що”, “неймовірно, щоб”, “доведено, що” і т.д.

“Ні двозначність, ні багатозначність не є природженими властивостями людського мислення. Розв’язок одних проблем може бути знайдений в рамках двозначної логіки, розмірковування про інші можуть виявитися успішнішими, якщо вони опираються на той чи інший варіант багатозначної логіки. Питання ж про те, якою є формальна логіка як окрема наука, з точки зору числа можливих значень істинності не має смислу. Логіка ніколи не вичерпувалася і тим більше не вичерпується тепер одною-єдиною логічною системою. Питання про число допустимих значень істинності може виникнути лише при побудові окремих логічних систем і при вирішенні окремих

логічних проблем. Логіка ж як сукупність всього великого числа існуючих конкретних логічних систем не є, очевидно, ні двозначною, ні багатозначною”.

Варто зауважити: упродовж століть від формальної логіки очікували (і вимагали) того, чого вона не могла (і не повинна була) дати. Ось слова **Френсіса Бекона**: “Логіка, якою тепер користуються, швидше використовується для того, щоб закріпити і зберегти помилки, які мають свою основу в загальноприйнятих поняттях, ніж для пошуку істини. Тому вона більше шкідлива, ніж корисна...” Те ж повторив **Рене Декарт**: “У логіці її силогізми і більша частина інших її настанов скоріше допомагають пояснювати іншим те, що нам відоме, або навіть ... безтолково розмірковувати про те, чого не знаєш, замість того щоб це вивчати”. **Джон Локк** зауважив, що “силогізм у кращому випадку є лише мистецтвом вести боротьбу за допомогою того невеликого знання, яке є в нас, не додаючи до нього нічого”.

До часів Канта і Гегеля сама назва “логіка” виявилася настільки дискредитованою, що “Гегель мав цілковиту підставу говорити про всезагальну і повну зневагу до цієї науки, “яку упродовж століть і тисячоліть.. так же вшановували, скільки тепер зневажають”.

Тим часом вже в рамках цієї формальної логіки звучали чіткі перестороги якщо йде мова про щось, то це щось розглядаємо “у певний час і в певному відношенні”. Напевне, сама зміна, скажімо, пір року і обумовлених нею явищ навколишнього світу буквально змушувала людину робити висновки щодо того, що “в цьому світі” “все тече, все змінюється”, поступово виробити поняття *діалектики* – і то не як усього лише “мистецтва вести бесіду”, а як такого погляду на світ, за яким і в природі, і в мисленні певні зміни мають статус об’єктивної закономірності. Але й тут “нас “чекали підводні камені” нової схоластики”, поспішного узагальнення й претензії на всеохопне знання...

Тож у наш час здаються принаймні дивними намагання таки ще Декарта і згодом Лейбніца “створити “всезагальну

математику”...замість попередньої, усіма висміяної і дискредитованої, логіки”. Чи то з тим же успіхом можна висміювати і таблицю множення?

В недалекому минулому (і то упродовж кількох десятиліть) вели мову про *діалектичну логіку*, яка мала б бути “не лише всезагальною схемою суб’єктивної діяльності, що творчо перетворює природу, але водночас і всезагальною схемою зміни будь-якого природничого і соціально-історичного матеріалу”, йшлося про “повне співпадання діалектики, логіки і теорії пізнання, де діалектика – наука про всезагальні форми і закони будь-якого розвитку...”. Водночас підкреслювали, що систематичний виклад цієї логіки “не під силу одній людині і навряд чи здійснений в рамках однієї книги”.

Щодо цього, здається, найчіткіше висловився канадський вчений **Маріо Бунге** – автор декількох серйозних монографій, де викладено філософські питання природознавства – у своїй “Філософії Фізики”: “... хоча діалектики часто твердять, що формальна логіка є в деякому розумінні “класичною межею” діалектичної логіки, цю другу ніколи точно не сформулювали і не було доведено навіть, що вона включає формальну логіку. Що більше, ідея діалектичної логіки в цілому рівноцінна спробі з’ясувати динаміку світу, виходячи з досократівського змішування логіки й онтології. В кращому випадку діалектика може стверджувати, що вона є онтологічною і/або епістемологічною теорією... Це ... теорія, яка не зробила якого-небудь внеску у вивчення логічних, семантичних і методологічних відношень між науковими теоріями” .

ПРО ОСНОВИ НАУКИ. РЕАЛЬНІСТЬ ОБ’ЄКТИВНА І ФІЗИЧНА. У 1970 р. започатковано видання міжнародного журналу “Foundations of Physics” (“Основи фізики”). На його обкладинці зазначено, що журнал має за мету з’ясування “понятійного базису” і фундаментальних теорій сучасної фізики, біофізики і космології, публікацію матеріалів, в яких є аналіз “логічної, методологічної і загальнофілософської бази фізичних теорій і процедур”. На думку видавців (фізиків США Г.Маргену і

В.Юрграу), “саме “дефекти” в основах науки є “загальними причинами”, які гальмують її розвиток. Тому головними задачами досліджень у царині основ фізики повинні бути пояснення фундаментальних ідей, розкриття й усунення суперечностей, що в них приховуються, встановлення плідотворних контактів між фізикою і суміжними з нею науками (космологією, біологією, хімією)...

Розвиток знання підлягає впливу традицій, і навіть тоді, коли старі традиції руйнуються, у новому знанні зберігаються деякі їх елементи, які не лише не суперечать відкриттям, але й допомагають їм народжуватися. Ці найстійкіші елементи і відносяться до основ науки. Таких елементів не так вже й багато.

До них можна віднести передусім *філософські категорії і принципи*. Яким би не було нове знання, воно завжди виражається через невелике число вихідних понять і принципів. (Як ось) – *річ, властивість, відношення, якість і кількість, процес, рух, стан, простір, час, реальність, можливість і дійсність, випадковість і необхідність* та деякі інші. Серед принципів – принцип збереження і змін, причинності й розвитку тощо” .

У природознавстві важливою є концепція реальності. І важливим є розуміння вживання цього поняття у двох смислах; бо ж “багато речей не дано людині безпосередньо, тобто через її відчуття. Наприклад, про властивості і закони Всесвіту або ж елементарних частинок ми знаємо не безпосередньо, а за допомогою фізичних теорій і складних технологічних пристроїв... Крім цього, і для Всесвіту, і для елементарних частинок вчені придумали багато різних теорій, які часто пропонують різні (якщо не протилежні) уявлення про свої предмети дослідження. І якщо ототожнювати кожен раз такі уявлення з тим, про що в них йде мова, вийде, що реальність – це навіть не дволикий Янус, а хамелеон. Залежно від стану розвитку теорії або від специфіки теорії реальність виявляється кожен раз інакшою. Що більше, вона по-різному виявляє себе залежно від конструкції наших приладів, експериментальних установок. Наприклад, електрон, як

відомо, веде себе то як частинка, то як хвиля... Але якщо реальність тотожна за змістом теорії або способом її експериментального дослідження, то виходить, що вона не існує сама по собі. Цей логічний висновок важко узгодити з інтуїтивним розумінням реальності.

Тому на стику фізики і філософії в ділянці основ фізики виникло поняття *фізичної реальності*, що є одною з центральних методологічних і світоглядницьких категорій фізики... Фізична реальність формується, річ ясна, об'єктивною реальністю як її відображення або частина, яку вивчає фізика. Але вона представляє собою зовсім не об'єктивну, "позалюдську", реальність, а когнітивний, матеріально-ідеальний об'єкт, у зміст якого свій внесок вкладають три інстанції: *об'єктивна реальність, практика експериментів і теоретико-конструктивна діяльність*. Дві останні інстанції слід віднести до людського фактора фізичної реальності. Таким чином, фізична реальність на відміну від об'єктивної реальності включає в себе і риси людської діяльності (матеріальної і ідеальної)...

Отже, фізична реальність формується частково завдяки теорії, яка здатна випереджувати, наперед визначати результати практики, зокрема в експериментальній діяльності, здатній створювати і такі об'єкти, яких немає в навколишній природі (наприклад, у прискорювачах)... Тому відносно концептуальної "сітки" теорії має смисл розрізняти матеріальні і ідеальні елементи (об'єкти і відношення між ними)... Розділення матеріальних та ідеальних елементів вказується стосовно теорії і можливостей експерименту і змінюється в ході розвитку фізичного знання. В процесі розширення наших знань про фізичну реальність, уточнення її понять деякі (за припущенням) матеріальні елементи здатні набувати риси ідеальних або навіть врешті-решт перетворюватися в них. Особливо це типове для процесу зміни одної фундаментальної теорії іншою такою теорією, коли генерується нова фізична реальність... (Для прикладу) було позбавлене фізичного смислу поняття орбіти електрона в атомі...

Фізична реальність світу квантових об'єктів виявляє себе передусім як реальність квантових процесів. У своєму описі вона характеризується сумісним застосуванням понять корпусули і хвилі, перервності і неперервності, частини і цілого, елемента і системи... можливості і дійсності, випадковості і необхідності. (Отже) **фізична реальність** – це **багаторівнева ієрархічна матеріально-ідеальна структура**, утвір з онтологічними рівнями різного ступеня складності... Вищий і **найбільш абстрактний її онтологічний шар** утворюється фундаментальними структурами, спільними для великої сукупності фізичних теорій. Узята в цьому аспекті (і відповідно в аспекті таких загальних методологічних програм, як атомістична або континуальна, теоретико-польова), фізична реальність виходить за рамки уявлення про неї як про “теоретизований світ”, за рамки конструкції тієї чи іншої конкретної фізичної теорії. Нижчий, але зате більш змістовний її рівень утворюють **структури принципів інваріантності і симетрії**, які виділяють ієрархію фундаментальних фізичних взаємодій (з сучасної т.з. гравітаційні, електрослабкі і сильні взаємодії – це не що інше, як види фізичної реальності), як і якісно різні класи фізичних об'єктів (важкі і легкі елементарні частинки, адрони і лептони, бозони й ферміони, кварки і глюони та ін.).

Далі йде рівень, що відповідає **фундаментальній** (наприклад, квантовомеханічній) **фізичній теорії**, на якому, власне, і виникає

“теоретизований світ”. Нарешті, ще дрібніші її деталі розкриваються на рівні **прикладних фізичних моделей** (як ось механіка суцільних середовищ, гідродинаміка)... Взаємозв'язки між усіма цими рівнями усвідомлюються за допомогою правил логічного виведення, семантичної інтерпретації, конвенцій, за допомогою конструктивної синтетичної і аналітичної діяльності мислення. Співвідношення різних рівнів фізичної реальності з об'єктивно-реальним світом здійснюється в процесі практики фізичного експерименту ...”.

CONTRARTA SUNT COMPLEMENTA – **протилежності доповнюють одна одну**. Цей напис вмістив **Нільс Бор** на своєму гербі. Йдеться про **принцип доповнювальності**, що його

зформулював Бор у 1927 р.: кожне істинно глибоке явище природи не може бути визначене однозначно за допомогою слів нашої мови і потребує для свого визначення принаймні двох додаткових понять, що взаємно виключають одне одного. Інакше: **наші визначення явищ природи бувають однозначні, але при цьому не повні. Коли ж вони повні, то неоднозначні, бо включають в себе додаткові поняття, що є несумісними в рамках формальної логіки.**

Фактично принцип доповнювальності був відомий давно. Так, Аристотель твердив, що “гармонія – це змішування і поєднання протилежностей”. У Давньому Китаї виникла *філософія Тао*, яка повністю базувалася на принципі доповнювальності (її символ “їнь – янь” – два близькі, білий і чорний, кружечки, що оточені кометоподібними, відповідно чорним і білим, утворами, які в сумі формують круг).

Але проблема, саме філософська, тут була виявлена і то давно: “як співвідносяться одне з одним знання (сукупність понять, теоретичних побудов, уявлень) і його предмет, узгоджується чи ні одне з одним, чи відповідає поняттям, якими оперує людина, щось реальне, що перебуває поза її свідомістю? І чи можна це перевірити взагалі? А якщо можна – то як?”

Питання справді дуже складні. Стверджувальну відповідь на них, при всій її ілюзорній очевидності, обґрунтувати нелегко. А ось негативну, виявляється, можна підкріпити дуже вагомими аргументами. Вони такі: оскільки предмет у процесі його усвідомлення заломлюється через призму “специфічної природи” органів сприйняття і здорового глузду, постільки ми знаємо будь-який предмет лише в тому вигляді, якого він набув внаслідок такого заломлення. “Буття” речей поза свідомістю, при цьому зовсім не обов’язково відкидати. Відкидається “лише” одне – можливість перевірити, чи є такими речі “насправді”, якими ми їх знаємо і усвідомлюємо, чи ні. Річ, якою вона дана у свідомості, неможливо порівнювати з річчю поза свідомістю, бо неможливо порівнювати те, що є у свідомості, з тим, чого у свідомості немає; не можна співставляти те, що я знаю, з тим, чого я не знаю, не бачу, не

сприймаю, не усвідомлюю. Раніше, ніж я зможу порівнювати своє уявлення про річ з річчю, я повинен цю річ також усвідомити, тобто також перетворити в уявлення. У підсумку я завжди порівнюю і співставляю лише уявлення з уявленням, хоча й думаю, що порівнюю уявлення з річчю...

Всередині чого ж співвідносяться між собою такі об'єкти, як “поняття” (“думка”) і “річ”? В якому особливому “просторі” вони можуть співставлятися, порівнюватися і розрізнятися? Чи є тут взагалі те “третє”, в якому вони є “одне і те ж”. Якщо ні, то... матиме рацію Вітгенштайн, який оголосив логічні форми містичними...

В оголено логічній формі ця трудність була різко виражена **Декартом**. У загальній же формі вона – центральна проблема будь-якої філософії взагалі – проблема відношення “мислення” до поза ним і незалежно від нього існуючої дійсності... проблема співпадіння форм мислення з формами дійсності, тобто проблема істини... “проблема тотожності мислення і буття”...

Чому ж узгоджуються два світи, які не мають між собою абсолютно нічого спільного, – світ у мислення і світ у просторі? А Бог його знає, відповідають і **Декарт**, і **Мальбранш**, і **Гайлінкс**, з нашої точки зору це непоясненне. Пояснити цей факт може лише Бог. Він і узгоджує між собою два протилежних світи... (Таким чином) картезіанська школа капітулювала перед теологією і віднесла нез'ясовний, з її точки зору, факт на рахунок Бога, оголосила “чудом”, тобто прямим втручанням надприродних сил у причинний ланцюг природніх процесів”.

“... Отже, питання про теоретичне розуміння мислення (логіки),... впирається в розв'язок кардинальних проблем філософії...”

Певні кроки вперед у з'ясуванні цієї проблеми зробив **І.Кант**. За **Е.В. Ільєнковим**, “І.Кант спеціально підкреслює, що “загальна логіка не містить і не може вмещувати жодних приписів для здатності розмірковування” як вміння “підводити під правила, тобто розрізняти, підлягає щось певному правилу... чи ні”. Тому найцінніше знання правил взагалі (зокрема і правил загальної

логіки) зовсім не гарантує безпомилковості їх застосування. Оскільки ж “відсутність здатності розмірковування є власне те, що звуть глупотою” і оскільки “проти цього недоліку немає ліків”, постільки загальна логіка не може виступати не лише в якості органона (знаряддя, інструмента) справжнього пізнання, але навіть в якості “канона” його – в якості критерію перевірки готового знання...

Тому будь-яке емпіричне поняття завжди перебуває під загрозою спростування з боку досвіду... І подальший досвід має право коректувати наші визначення, змінювати предикати судження...”

Як знаємо, **Кант** зробив висновок, що “крім загальної логіки має існувати і спеціальна логіка, яка має справу лише з теоретичними принципами і правилами (“логіка істини”), бо головною проблемою, з якою стикається наука, виявляються зовсім не аналітичні, а саме синтетичні розмірковування”. Бо “де розум раніше не з’єднав, там йому нічого і розділяти, і тому наші уявлення повинні бути вже даними перед будь-яким аналізом їх і ні одне поняття не може за змістом виникнути аналітично”.

Тож, як зазначив **Е.В.Ільєнков**, у цьому – “повний переворот у поглядах на предмет логіки як науки про мислення... Кант вперше починає бачити головні логічні форми мислення в категоріях, включаючи тим самим у склад предмета логіки те, що вся попередня традиція відносила до компетенції онтології, метафізики і в жодному разі не логіки”.

Не заглиблюючись ширше як у зміст задач, що їх ставив перед собою І.Кант, так і в обговорення отриманих ним висновків, звернемо тут увагу на наступне: **І.Кант** виявив, що розум впадає в **антиномії**, як тільки він намагається пізнати світ у цілому: “Логічна суперечність і є для мислення індикатором, який показує, що воно взялося за розв’язок задачі, для нього непосильної. Ця суперечність нагадує мисленню, що не можна охопити неохопне”. І ще: “У стан логічної суперечності (антиномії) розум потрапляє тут не лише і навіть не стільки тому, що дослід завжди є незавершеним, не тому, що на основі частини досліду робиться

узагальнення, правильне і для досліду в цілому. Це якраз розум може і повинен робити, інакше була б неможливою ніяка наука. Справа зовсім в іншому: при спробі здійснити повний синтез усіх теоретичних понять і суджень, зроблених на основі проведеного досліду, зразу ж виявляється, що й сам вже здійснений дослід був всередині себе антиномічним... і то тому, що він охоплює узагальнення і судження, синтезовані за схемами не лише різних, а й прямо протилежних категорій”.

Те ж говорить і “Словник з логіки”: “Антиномії свідчать про недосконалість звичайних методів формування понять і методів розмірковувань. Вони відіграють роль контролюючого фактора, який ставить обмеження на шляху конструювання систем логіки”.

Чотири антиномії Канта звучать так:

1) Світ має початок у часі і обмежений у просторі – світ не має початку і не обмежений у просторі.

2) Все у світі складається з простого (неподільного) – нема у світі нічого простого, а все складне.

3) У світі існують вільні причини – немає ніякої свободи, тобто все необхідне.

4) У ряді світових причин є певна необхідна істота – в цьому ряді немає нічого необхідного, а все випадкове.

Наведені тут рядки сьогодні прочитуються зовсім інакше, ніж 200 років тому. Адже наука вже розширила горизонт, який відділяє “те, що знаємо” від “ще невідомого” на мільярди світлових років, і саме на цьому горизонті “встановила” оті “прокляті питання про першооснову, першопричину буття” (з другого боку, вона і в астрономічному космосі, у мікросвіті, і в космосі живих форм віддалила їх у минуле на мільярди років...). Але є приклади антиномій “до нестерпного наглядні”, серед них відомий парадокс (ще кажуть – софізм) “Брехун”. Виявив його давньогрецький філософ **Евбулід із Мілета** (IV ст. до н.е.):

Критянин Епіменід сказав: “усі критяни – брехуни”

Епіменід – сам критянин

Отже, Епіменід – брехун

Але: якщо Епіменід брехун, то його переконання, нібито “всі критяни – брехуни” – хибне. Отже, критяни не брехуни, і твердження Епіменіда, який також критянин, – істинне!

За переказом, давньогрецький філософ **Діодор Кронос** бл. 307 р. до н.е. на схилі років дав було обіцянку не вживати їжу, доки не знайде рішення “Брехуна” і помер з голоду й розпачу. Інший філософ Філет Коський з тої ж причини закінчив життя самогубством. В часи Середньовіччя цю ж антиномію формулювали й так: “Сказане Платоном помилкове – сказав Сократ. – Те, що сказав Сократ, – істинне – мовив Платон”...

А Нільс Бор заявив: “Бувають істини ясні і глибокі. Ясній істині протистоїть брехня, глибокій - така ж глибока істина”...

ТЕОРЕМА ГЬОДЕЛЯ. Австрійський логік і математик **Курт Гьодель** (1906 –1978) у 1931 р. у статті “Про формально нерозв’язні розмірковування щодо основ математики і споріднених систем” довів *теорему про неповноту*: “Якщо система Z (що вміщує арифметику натуральних чисел) несуперечлива, то в ній існує таке твердження A , що ні само A , ні його заперечення не можуть бути доведеними засобами Z ”. Отже, “Гьодель довів, що в достатньо багатих змістовних нормальних системах є *нерозв’язні* розмірковування, тобто припущення, які неможливо ні довести, ні відкинути. Значення теореми Гьоделя полягає в тому, що вона показала нездійсненність програми формалізації математики, запропонованої німецьким математиком Д.Гільбертом. Як виявляє ця теорема, навіть арифметику натуральних чисел неможливо формалізувати повністю, бо в формалізованій арифметиці існують істинні твердження, які виявляються нерозв’язними. З філософсько-методологічної точки зору значення теореми Гьоделя полягає в тому, що вона показує неможливість повної формалізації людського знання” /Г-И-Н, с. 31/.

Невдовзі теорема Геделя була узагальнена і популярно зформульована так: “Ні одна система не може бути пізнана до кінця зсередини – поза зв’язком з іншими системами вищого порядку”, тобто: неможливо вичерпно описати світ, в якому живе людина,

зокрема – описати причину появи та існування Всесвіту, не вийшовши за його межі. А це людині “не дано, принаймні до її смерті”. Тож і відповіді на оті “одвічні питання” не будуть отримані...

І все ж людина в своєму намаганні з’ясувати таємниці Всесвіту і збагнути “навіщо вона в ньому” вперто просувається вперед. Зокрема, розвиваючи й уточнюючи “мову” (а це передусім певні математичні прийоми), якою “Природа розмовляє з ученим”. Формулюючи певні здогади, гіпотези, користуючись правилом, що має назву *брита Оккама*: *Entia non sunt multiplicanda “сутності не повинні помножуватися”*. Тобто, з декількох гіпотез перевагу віддають тій, у якій кількість припущень мінімальна. Зформулював це правило англійський філософ **Уїльям Оккам** (1300 – 1349).

ВІД ЧИСЛА ДО ТЕОРІЇ ГРУП. VI ст. до н.е. в грецькій колонії на півдні Італії у Кротоні виникла Піфагорійська школа, засновником якої був філософ **Піфагор** (бл. 580 – 500 рр. до н.е.). На жаль, його твори, зокрема – “Про природу”, до нас не дійшли, однак їх (його) головна ідея така: при вивченні навколишнього світу дуже важливу роль відіграють числа, тобто кількісна оцінка конкретних характеристик кожного явища. Тому було зформульовано такі положення: “Небо – це гармонія і число”, “Число є сутністю Цілого”, “Все, що існує, можна уподібнити числу”. Згодом Аристотель напише: “Вони побудували небо із чисел”.

І таки **Піфагор** уперше висловив думку про те, що Земля – куля, що вона висить у просторі без усякої підтримки...

Щоправда, є “крутіша” інтерпретація вчення **Піфагора**; мовляв він учив, що першоосновою усього існуючого і мірилом усіх речей є числа і що піфагорійці цю “надуману гармонію чисел” намагалися знайти в природі, “а точніше – нав’язати їй”. Задумаємося і над цим, пригадавши слова Н.Бора...

Але число – це “щось” у ряду “натуральних чисел”. Яке б то не було маніпулювання ним дає все ж “не все”. Не давно, що

десь тоді ж зародилася геометрія, і вже на дверях Академії філософа

Платона (427 – 347 рр. до н.е.) було написано: “Нехай не входить ніхто, хто не знає геометрії”.

Якраз використовуючи геометричні прийоми, **Аристарх Самоський** (бл. 310 – 230 до н.е.) здійснив першу спробу встановити відносні відстані Місяця і Сонця, як також розміри цих світил. В Александрії інший видатний математик **Ератосфен** (бл. 276 – 194 до н.е.) виміряв діаметр Землі, **Гіппарх** (бл. 198 – 125 до н.е.) з високою точністю визначив відстань від Землі до Місяць. Нарешті, **Птолемей** (бл. 87 – 165 н.е.) за допомогою комбінацій рівномірних і правильних колових рухів на 1300 років “врятував явища, що їх проявляють планети” – дав метод обчислень і положень на тлі зір наперед/назад на десятки років!

Як алгебраїчні, так і геометричні методи розвивалися поступово. Поняття синуса зформувалося в часи **Гіппарха**, тангенса – в X ст., десяткового дробу – з 1585 р., логарифмів – 1614 р. (**Дж. Непер**) і 1624 р. (**Й.Кеплер**).

У свій час **Галілей** зазначив, що “книга природи написана математичною мовою”. Тоді він уявляв її як мову співвідношення чисел і геометричних прийомів. Лише півстоліттям пізніше незалежно **Ньютон** і **Ляйбніц** зробили наступний (і то дуже важливий!) крок – розробили методи диференціального та інтегрального числення (у Ньютона це обчислення **флюксій** і **флюент**, опублікував у 1670 – 1671 рр., Ляйбніц – 1684 і 1686 рр.). В середині XIX ст. закладено основи тензорного числення, без чого А. Айнштайн не зміг би записати співвідношення загальної теорії відносності.

Але ось що, то всерйоз, то як сміховинна примара супроводжувало розвиток цих інструментів пізнання Світу. **Августин Аврелій** (354 – 430), тобто св. Августин писав: “Геометрію варто б заборонити в усіх християнських країнах, оскільки вона привчає розум логічно мислити” а воно ж “математика відвертає від Бога”. А ще: “Добрий християнин повинен остерігатися математиків... Нам загрожує небезпека

реальна, що математики вклали угоду із сатаною, щоб затемнити розум і запроторити людину у пастку пекла”. Імператор Візантії **Юстиніан** (483 – 565) видав низку жорстоких законів проти всіх, хто займається математикою, їх прирівнювали до злодіїв і вбивць, “найнеугодніших Богові людей”. Математичні книги спалювали... Певний час (XII – XVI стт.) в Європі читання книг з фізики було визнано гріхом, і “таких грішників” подекуди закопували живцем або спалювали. Один із теоретиків ісламу **аль Газалі** (1059 – 1111) пояснював: “мало існує людей, які займаються математикою і які не стали б при цьому віровідступниками”, бо “математика руйнує релігійний світогляд і приводить до віровідступництва”.

Та й значно пізніше англійський філософ-теолог **Джордж Берклі** (1685 – 1753, з 1734 р. англіканський єпископ) вважав за потрібне заявити: “Диференціальні рівняння – це химера, знаярдя диявола”... А ось зовсім недавнє. У наш час вивчення елементарних частинок немислиме без теорії груп. А тим часом у 1910 р. видатний англійський астроном **Джеймс Джінс** (1877 – 1946) у Принстонському університеті, переглядаючи навчальні програми, зауважив щодо неї: “Теорію груп цілком можна викинути, цей предмет ніколи не знайде застосування у фізиці”...

ДОСТОВІРНІСТЬ ЗНАННЯ І ЗАКОНІВ. Яким би загрозливим не здавався дамоклів меч, “образно підвішений над *дослідником*” **Бором** чи **Гьоделем**, усе ж *він* (велика група, “від покоління до наступного”) і дослідження веде, і ще й ще ставить питання як щодо достовірності знання, так і природи наукових законів! Тут наведемо слова **Г.Мак-Вітті**: “Що є природою наукових знань? Чи є їх висновки беззаперечними і абсолютними фрагментами остаточної істини, чи вони є неминуче минущими і зникаючими конструкціями?... Вихідна точка зору тут... – передусім нам досяжні дані відчуттів – дані, отримані із спостережень та експериментів... Наступна реакція людського розуму полягав в тому, щоб накреслити раціональну картину цих відчуттів... упорядкувати їх певним чином... щоб зрозуміти їх... розкрити їх

властивості. І – *закони природи придумані як принципи, згідно з якими “працює” цей раціональний світ*”.

Щоправда, в процесі нагромадження нових даних певні закони замінюються новими, більш загальними. Можна б говорити про якесь наближення до істини завдяки зусиллям кожного наступного покоління вчених. “ *Але терміном “наближення” можна користуватися лише тоді, коли наперед відомо, що певна остаточна мета існує*. Так, можна розмірковувати про наближення до суми збіжного ряду, оскільки можна незалежно довести існування суми такого ряду; однак якщо ряд розбігається, то наближення до його суми є безглуздом. Наближена теорія науки покладає досяжність скінченної і замкнутої картини...”

Альтернативна відносно доктрини раціонального зовнішнього світу точка зору розглядає науку як метод кореляції даних відчуттів... Тут не спостережувані явища, як атоми, поля... є лише концепціями, які використовуються при фабрикуванні систем кореляції. І тут... про теорію найкраще говорити, що вона адекватна або неадекватна як засіб кореляції всередині членів певної групи даних. *З цієї точки зору, закони природи є лише фундаментальними постулатами*, які є в основі теорії і які повинні розглядатися як вільні витвори людського розуму... Але вони не є незмінними: при нагромадженні даних може виявитися, що певна часткова схема законів стане неадекватною і повинна поступитися новому набору законів...

Для фізики як частини природознавства типовим є представлення законів у формі математичних співвідношень. Вже **Декарт** зауважив, що математика відкриває перед людиною шлях до встановлення законів природи. У 1623 р. Галілей написав так: “Філософія природи написана у найвеличнійшій книзі, яка завжди відкрита перед нашими очима, – маю на увазі Всесвіт, але зрозуміти її зможе лише той, хто спочатку вивчить мову і збагне абетку якою вона написана. А написана ця книга мовою математики і літери її – трикутники, кола й інші геометричні фігури, без яких неможливо збагнути по-людськи її слова: без них – марне кружляння у темному лабіринті”.

Ньютон у передмові до першого видання “Основ” писав: “Оскільки давні, за словами Паппуса, надавали велике значення механіці при вивченні природи, то новітні автори, відкинувши субстанції і приховані властивості, намагаються підкорити явища Природи законам математики.

У цьому творі беремо до уваги детальний розвиток застосування математики до фізики... тому і твір цей нами пропонується як математичні основи фізики. Усі труднощі фізики, як буде видно, полягають в тому, щоб за явищами руху розпізнати сили природи, а далі за цими силами пояснити всі інші явища...”

Розуміючи, що *відкритий ним закон всесвітнього тяжіння – це опис, а не пояснення*, Ньютон писав у листі **Річарду Бенлі**: “Іноді ви говорите про тяжіння як про щось істотне і внутрішньо притаманне матерії. Молю вас не приписувати це поняття мені, бо я зовсім не претендую на знання причин тяжіння і тому не буду тратити час на їх розгляд”.

Нагадаємо, що в “Математичних основах природознавства” Ньютон написав про це так: “Причин же цих властивостей сили тяжіння я дотепер не міг вивести з явищ, а гіпотез я не придумую”...

Згадаємо тут і **Джеймса Клерка Максвелла** (1831 – 1879), який “переклав фізичні дослідження Фарадея на мову математичних формул”: “... зріла теорія, в якій фізичні факти отримують фізичне пояснення, буде збудована тими, хто, запитуючи Природу, вміє отримувати лише істинні розв’язки проблем, підказуваних математичною теорією”.

А ось висловлювання **А.Айнштейна**: “Увесь попередній досвід переконує нас у тому, що природа являє собою реалізацію найпростіших математично мислимих елементів. Я переконаний, що за допомогою чисто математичних конструкцій ми можемо знайти ті поняття і закономірні зв’язки між ними, які дадуть нам ключ до розуміння явищ природи. Дослід може підказати нам відповідні математичні поняття, але вони в жодному разі не можуть бути виведені з нього. Звичайно,

дослід залишається єдиним критерієм придатності математичних конструкцій фізики. Але справжнє творче начало притаманне саме математиці. Тому я вважаю у певному смислі оправданою віру давніх у те, що чисте мислення у стані збагнути реальність” (“Світ, яким я бачу його”, 1934 р.). А ще: “... кожен, хто насмілиться взяти на себе роль судді у всьому, що стосується Істини і Знання, визнає поразки під сміх богів”...

Зауваживши, що всі блискучі досягнення фізики ХІХ і ХХ стт. опираються на математичні ідеї і математичні розмірковування, **М.Клайн** задав питання: “То, може, у царині знання, про яку йде мова, все ж є якась магічна сила, яка посприяла їй отримати

стільки перемог, хоча боролася вона під непереборним прапором істини?”. І далі він наводить слова Айнштайна: “У цьому зв’язку виникає питання, яке хвилювало дослідників усіх часів. Чому можлива така досконала відповідність математики з реальними предметами, якщо сама вона є витвором лише людської думки, не пов’язаної з будь-яким досвідом? Чи може людський розум без будь-якого досвіду, шляхом одного лише розмірковування збагнути властивості реальних речей?”.

В іншому місці **Айнштайн** писав: “Фізичні поняття є вільними творіннями людського розуму, а не визначені однозначно зовнішнім світом, як це іноді може здаватися. В нашому стремлінні збагнути реальність ми дещо уподібнюємося людині, яка хоче збагнути механізм закритого годинника. Він бачить циферблат і рухомі стрілки, навіть чує тикання, але не має засобів відкрити його корпус. Якщо вона дотепна, то може намалювати собі певну картину механізму, яка відповідала б усьому, що вона спостерігає, але вона ніколи не може бути впевнена в тому, що її картина єдина, яка могла б пояснити її спостереження. Вона ніколи не буде в змозі порівняти свою картину з реальним механізмом, і вона не може навіть уявити собі можливість або смисл такого порівняння”.

Заслугують уваги і слова німецького математика **Германа Вейля** (1885 – 1955) з його книги “Філософія математики і природничих наук (1949 р.): “У природі існує

внутрішньо притаманна їй прихована гармонія, яка відображається у нашому розумі у формі простих математичних законів. Саме цим пояснюється, чому природні явища вдається передбачувати за допомогою комбінації спостережень і математичного аналізу. Понад усякі очікування переконавання (я б краще сказав, мрія!) в існуванні гармонії у природі знаходить все нові й нові підтвердження в історії фізики”.

А ось що на ту ж тему в “Анатомії науки” (1926 р.) написав американський фізик-хімік **Гілберт Н. Льюїс** (1875 – 1946): “Вчений – людина практична і змагає до практичної мети... Вона говорить не про остаточний результат, а про чергове наближення... Покладати, що існує істина в останній інстанції, хоча така точка зору поширена незвичайно широко, не дуже корисно для науки; вона придатна хіба що як показчик горизонту, до якого можна змагати, але не пункт, якого можна досягти”.

Тепер рядки з книги **М.Клайна** “Математика. Пошук істини” /К-М, с. 253/: “... мислителі вимушені були визнати, що незвичайна ефективність математики незбагненна”. Так, філософ **Чарлз Пірс** (1839 – 1914) зауважив: “Очевидно, в цьому є якась таємниця, яку ще належить відкрити”. Згодом **Ервін Шредінгер** у книжці “Що таке життя з точки зору фізика?” визнавав, що суть відкриття людиною законів природи цілком може знаходитися за межами людського розуму”. Інший видатний фізик **Фрімен Дайсон** також вважає, що “ми, очевидно, ще не наблизилися до розуміння взаємозв’язку між фізичним і математичним світами”. До слів цих учених залишається лише додати висловлювання Айнштейна: “Найбільш незбагненне у цьому світі те, що він збагнений”. Однак **Джеймс Джінс** твердить, що фізичні поняття і механізми – не більше ніж гіпотези, висунуті при побудові математичного опису реального світу. Але це означає, що всі поняття, якими оперує фізика, навряд чи є чимсь більшим, ніж фантазії. За **Джінсом**, математичні рівняння – єдине, що нам достовірно відомо про явища фізичного світу. Урожай, який вінчає усі зусилля в фізиці, – лише набір математичних формул; реальна

сутність матеріальної субстанції назавжди залишиться непізнаною”.

Аж напрошуються згадати так ж категоричні заяви **О.Конта...** Хоча “за великим рахунком” Джінс, очевидно, таки має рацію...

Ще три фрагменти з книш **М.Клайна**: “Ми бачимо, що *центральним стрижнем найдосконаліших фізичних теорій є математика*, точніше – декілька формул і наслідків з них. *В основі кожної фізичної теорії лежать міцні і чіткі математичні принципи*. Наші теоретичні абстрактні побудови виходять за рамки інтуїтивних і чуттєвих сприйнять. Користуючись і теорією гравітації Ньютона, і теорією електромагнітного поля Максвелла, ми змушені признатися в незнанні основних механізмів і покласти на математику опис того, що нам відомо. Таке визнання, можливо, завдає удару нашому самолюбству, та водночас сприяє розумінню істинного стану речей. Саме тепер ми можемо належно оцінити думку, висловлену **Уайтхедом**: “Безсумнівний парадокс полягав в тому, що якраз граничні абстракції (математики) є тими справжніми засобами, за допомогою яких ми керуємо нашим розумінням конкретних фактів”.

У цьому парадоксі і полягає своєрідність математики, бо вона дозволяє відкривати явища, які, взяті окремо від людського розуму, зовсім не очевидні, хоча й цілком реальні”.

“Наділені усього декількома і дуже обмеженими за своїми можливостями органами відчуттів і головним мозком, люди почали проникати у навколишній загадковий світ. Використовуючи власний відчуттєвий досвід і дані, отримані з експериментів, люди виробили певний набір аксіом, застосовувши до них могутність свого розуму. Метою їх пошуків було виявлення порядку, що лежить в основі світобудови. Вони намагалися побудувати системи знання, які б протистояли скороминучості відчуттів і могли б стати основою для творення певних схем, здатних пояснити навколишній світ і допомогти оволодіти ним. І головним продуктом людського розуму стала математика..., вона дотепер залишається найдорожчим скарбом людського розуму,

який слід якнайпильніше оберігати. Упродовж довгого часу математика перебувала в авангарді людської думки і, безперечно, збереже передові позиції... Математична думка невтомно б'ється об скелястий берег, який перешкоджає їй проникнути на нові території. Але навіть гранітні скелі не витримують її могутнього натиску... і руйнуються, відкриваючи перед математикою нові простори”.

“Так приходимо до беззаперечного і неспростовного висновку: математика і фізична реальність нероздільні... Межі нашого знання реальності існують, але вони поступово розширюються. Цілком можливо, що людина, увівши деякі обмеження і навіть штучні поняття, лише таким способом зуміла “навести порядок” у природі. Створена нами математика може виявитися усього лише робочою схемою. Не виключене, що природа насправді збудована значно складніше і в основі її немає жодного “плану”. Але і тоді математика як метод дослідження, опису і пізнання природи не знає собі рівних...

Хоча математика і є чисто людським творінням, вона відкрила нам доступ до деяких таємниць природи і тим дала змогу добитися успіхів, що перевищили усі сподівання. Як це не парадоксально, але якраз дуже далекі від реальності математичні абстракції дали людині змогу досягнути немалого... Для мислячого вченого математичний опис завжди був невичерпним джерелом здивування, породженого тим, що природа виявляє дивовижно високий рівень відповідності математичним формулам. Чи закладені регулярні залежності, що виражаються фізичними законами, в самій природі і ми лише відкриваємо їх, чи їх винаходить і застосовує до природи розум ученого, в будь-якому випадку вчені повинні надіятися, що їх невтомна праця сприяє глибшому проникненню в таємниці природи”.

Тут можна згадати й слова **Давида Гільберта** (1862 – 1943), що математика – це єдина симфонія нескінченного. Бо ж “у математиці панує нескінченність”. Але й що будова цієї величної споруди, за словами **А.Г.Конфоровича**, час від часу зазнавала справжніх логічних катастроф, після яких на місці

витончених теорій лишалися жалюгідні руїни: “Серед інших наукових катастроф математичні були найпродуктивніші. Що ж до причини потрясінь, то здебільшого це було поняття нескінченності. Воно виявилось надивовижу багатоліким.... Виявилось, що людина в своїй, по суті скінченній, практиці не може обійтися без нескінченності... Бо загадка нескінченного ще багато віків лишається нездоланим викликом людському генію..

Істинна суть нескінченності виявилася складною, точніше невичерпною. Потрясіння, як і пережила математика на шляху пізнання цієї суті, свідчили, що створений математичний апарат уже недостатній для дальшого розкриття деяких сторін дійсності. Можливо, таких, що сьогодні про них ми і не підозрюємо. Наше наближення до абсолютної істини є лише асимптотичним... І навіть математика безсила зробити скінченним наш шлях до істини, безсила обминути, уникнути нових протиріч і парадоксів, які постануть у майбутньому”.

3. Категорії простору, часу, матерії і руху

З'ясовуючи своє місце у Всесвіті, люди з кожним століттям все глибше проникали в суть навколишніх речей і явищ. Завдяки цьому вони виробили певні найзагальніші поняття, якими виражався зміст усього людського досвіду – *категорії* (як ось субстанція, простір, час, властивість і відношення, якість і кількість, рух, стан, реальність, можливість і дійсність, випадковість і необхідність) та певні принципи (причинності і розвитку, єдності і різноманітності, тотожності і відмінності тощо).

ПРОСТІР. НАШЕ СПРИЙНЯТТЯ ПРОСТОРУ. На підставі свого щоденного досвіду ми твердимо, що усі предмети чи явища займають певне місце, знаходяться “тут” або “там”, “ближче” чи “дальше”. Узагальнюємо це так: є простір як вмістилище всіх предметів навколишнього світу, в якому “тут” і “там” розгортаються всі явища й процеси.

Простір постає перед нами у трьох вимірах. У ньому людина може вільно переміщатися вліво-вправо, вперед-назад, вверх-вниз. Від цього безпосереднього досвіду якраз і було неважко перейти до поняття *простір*, до науки про просторові відношення – *геометрії* (дослівно – землемірство). Це була геометрія Евкліда, за допомогою якої встановлювали кількісні, *метричні* співвідношення між окремими точками простору. Як відомо, бл. 300 р. до н.е. александрійський вчений Евклід у своїх “Началах” сформулював п’ять постулатів: “1. Допустимо, що від будь-якої точки до кожної точки [можна] провести пряму лінію. 2. І що обмежену пряму [можна] неперервно продовжувати по прямій. 3. І що з будь-якого центра і будь-яким розхилом циркуля [можна] описати коло. 4. І що всі прямі кути рівні між собою.” Найбільшу увагу впродовж століть привертав п’ятий постулат: “І якщо пряма, яка падає на дві прямі, утворює внутрішні і по один бік кути, [в сумі] менші від двох прямих, то, продовжені необмежене, вони зустрінуться з того боку, де кути менші від двох прямих”.

КОНЦЕПЦІЇ ПРОСТОРУ. Уже з часів давньогрецьких філософів існує декілька концепцій простору (лат. *conceptio* – прийняття), тобто систем поглядів.

1. Простір є своєрідною посудиною, абсолютною безконечною протяжністю чи порожнечою, яка вміщує в собі всі тіла і яка не залежить від них (Демокріт, Епікур, Ньютон). За Ньютоном, простір сам по собі, як “холодне” порожнє “вмістилище” тіл, є нерухомим, неперервним, однорідним та ізотропним (тобто його властивості в усіх напрямках є однаковими), має три виміри і є непізнаваним. Завдяки тому, що тіла мають протяжність, вони в цьому абсолютному просторі займають певні місця, і ці положення тіл та відстані між ними можна визначити лише відносно інших тіл.

2. Простір – це порядок співіснування і взаємного розташування великої кількості тіл, які взаємно обмежують і продовжують одне одного (Арістотель, Декарт, Ляйбніц, Ріман). Так, у своїх “Початках філософії” (1644р.) Рене Декарт писав: “Простір, або внутрішнє місце, також відрізняється від тілесної субстанції, яка міститься у цьому просторі, лише у нашому мисленні”. За Ляйбніцем, протяжність кожного об’єкта не є первинною властивістю, а зумовлена силами, що діють всередині нього.

3. Простір є формою впорядкування комплексів відчуттів, вираженням порядку сприймання (Берклі, Кант).

При обговоренні питання про протяжність простору ще в давній Греції виникло два погляди. За одним із них простір є безконечним (так твердив Демокріт), за іншим він є обмеженим. Так, філософ Платон (+347 до н.е.), маючи на увазі Бога-Творця, писав: “Обриси ж Він надав Всесвіту такі, які були для Нього пристойні і Йому споріднені... Отож Він шляхом обертання округлив космос до стану сфери, поверхня якої скрізь однаково віддалена від центра”. Цей погляд, за яким Земля перебуває у центрі світобудови, фізично обґрунтував Арістотель міркуванням: важчі тіла повинні падати до центра світу, а легші підійматися вверх, що й нібито спостерігається на Землі (камінь падає вниз, вогонь – полум’я – підіймається вверх). Радіус же

Всесвіту, а отже, його простору, за Аристотелем, мав би бути у дев'ять разів більшим за відстань від Землі до Сонця.

Ледве не загальноприйнятим є твердження, що становлення нової науки, а відповідно і зміна картини світу, розпочалося після відкриття Колумбом Америки (1492р.) і кругосвітньої мандрівки Магеллана (1519-1521 рр.). Значною мірою це так. Але, як було вже зазначено, нові погляди на місце Землі з'явилися принаймні за 150 років до цього у працях Буридана, згодом Миколи Кузанського. Очевидно, вже на початку II тисячоліття н.е. ті, хто роздумував над проблемами світобудови, починали усвідомлювати, що розміри “кришталеві сфери зір” мали б бути дуже великими, а отже, лінійні швидкості її окремих точок мали б досягати фантастичних значень. З другого боку, для тих, хто, услід за Демокритом, уявляв собі Всесвіт нескінченним у просторі, поняття “нескінченний зоряний світ” і добове обертання сфери зір” були логічно несумісні. Бо ж неможливо уявити, як могли упорядковуватися, взаємно узгоджуватися рухи всіх видимих зір навколо Землі (точніше, навколо “осі світу”, що проходять через неї), якщо ці зорі перебувають на найрізноманітніших відстанях від неї. Куди легше було уявити, що обертається (і рухається) саме Земля. Тому й зрозуміло, чому це, як тільки М. Коперник узагальнив такі уявлення і виклав їх у своїй праці, повернення до старих поглядів вже не могло бути (хоча докази правильності геліоцентричної моделі світу було отримано через 200-300 років!).

ПРО ПОДІЛЬНІСТЬ І БЕЗКОНЕЧНІСТЬ ПРОСТОРУ. У давній Греції було сформульовано питання: чи можна здійснювати поділ простору до безконечності, чи, навпаки, він є дискретним (лат. discretus – перервний). У цьому другому випадку простір мав би складатися з окремих “атомів” скінченних розмірів. Так, послідовники Піфагора твердили, що просторові тіла й геометричні фігури складаються з окремих дискретних точок: найкоротша лінія – з двох точок (...), довша – з трьох (...), найменша фігура – з трьох точок (:) і т.д.

З цими уявленнями про дискретність простору пов'язані **апорії** (гр. *απορία* – безвихідь) **Зенона Елейського** (V ст. до н.е.). Так, за апорією “Ахілл і черепаха” Ахілл, який наздоганяє черепаку, ніколи не пережене її. Бо доки він добіжить до місця, де черепаха перебуває, вона зміститься вперед, і так до нескінченності. Але Аристотель вказав, як розв'язати цей парадокс (гр. *παράδοξος* – несподіваний, дивний): Ахілл наздожене черепаку, якщо йому буде дозволено “перейти межу”, тобто досягти і переступити через межу подільності шляху (простору).

Можливість поділу простору “в глибину”, тобто можливість його нескінченної, необмеженої подільності на дедалі все менші частини змушувала ввести поняття **інтенсивної безконечності** на відміну від **екстенсивної безконечності** – безконечності простору “в ширину”, за його протяжністю. Аристотель, однак, допускав, що простір подільний до безмежності лише в потенції, за можливістю, але не актуально, не насправді. Тому, мовляв, можна говорити про потенціальну нескінченність, яка досягається лише у нескінченно віддаленому майбутньому. Актуальна (реальна) нескінченність мала б бути даною “вже тепер” і “цілком”, це, так би мовити, звершене ціле, що містить незліченне число предметів.

МЕТРИКА, ТОПОЛОГІЯ І ЗВ'ЯЗНІСТЬ ПРОСТОРУ. Як згадано вище, геометрія дає змогу встановити певні **кількісні** характеристики простору: визначити відстані між його довільними двома точками, виміряти кути між різними просторовими напрямками. Це – **метричні** характеристики простору. Вони якраз пов'язані з вимірюваннями відстаней, кутів і площ. Метричним зветься такий простір, в якому можна задати відстані між двома довільно взятими точками. І тут варто нагадати, що простір як математичне поняття може мати різне число вимірів. Так, пряма лінія (і коло) – це одновимірний простір, площина (поверхня глобуса) – двовимірний і т.д.

Метрика (гр. *μετρέω* – вимірюю) простору – це основний закон, що визначає його **кількісні** властивості. В евклідовій

геометрії таким законом є *теорема Піфагора*: квадрат гіпотенузи прямокутного трикутника дорівнює сумі квадратів катетів.

Однак для повної характеристики простору не досить задати його кількісні взаємовідношення. Так, узявши аркуш паперу, можемо розглядати його як уламок двовимірного простору, на якому виконуються всі аксіоми евклідової геометрії, зокрема, сума кутів трикутника становить 180° . Обравши певний масштаб, можемо виміряти відстані між вершинами трикутника, обчислити його площу.

Тепер, зігнувши аркуш у трубку та склеївши його протилежні краї, отримуємо циліндр. Унаслідок такого перетворення жодна із характеристик трикутника (загалом – двовимірного простору) не змінилася: сума кутів трикутника і далі рівна 180° , не змінилися відстані між його вершинами, його площа. Однак *якісні* характеристики цього простору вже зовсім інакші. Адже в одному напрямі (перпендикулярно до осі циліндра), описавши коло на поверхні, повертаємося до тої ж точки.

З цього прикладу видно, що для повної характеристики простору необхідно вказувати ще і його *якісні* риси. Цим якраз і займається *топология* (гр. *τοπος* – місце), або якісна геометрія, що досліджує якісні риси і властивості простору.

Конкретно, топология вивчає ті властивості геометричних фігур, які зберігаються при розтягах і стисках, якщо лише це не супроводжується розривами і склеюванням. З точки зору топології піраміда, куб і сфера (а на площині, у двовимірному світі – трикутник, квадрат і коло) належать до одного і того ж топологічного типу. Надуваючи еластичну гумову модель піраміди (кажуть: застосовуючи топологічне перетворення), можна надати їй форму кулі. І навпаки, деформуючи цю останню, перетворюємо її в куб. Проте жодними зусиллями кулю не можна перетворити на тор – “бублик” (так, камеру футбольного м’яча неможливо перетворити на камеру велосипедної шини). Аналогічно у двовимірному світі

трикутник можна деформувати у коло, еліпс чи квадрат, і топологічні властивості цих фігур будуть однаковими.

З урахуванням усього тут сказаного можна, зокрема, щодо евклідового простору висловити таке припущення: евклідовий тривимірний простір безмежний, а його протяжність – безконечна. Перша з цих рис відображає топологічні властивості: простір ні в якому напрямі не має межі. Друга риса вказує метричні властивості: в будь-якому напрямі одиницю виміру можна відкласти як завгодно далеко. У наведеному ж вище прикладі замкнутого простору (коло як одновимірний простір, поверхня глобуса як двовимірний простір) цей простір є безмежним, але скінченним.

Для опису топологічних властивостей простору використовують поняття “замкнутий” (метрична риса – “скінченний”) і “відкритий” (метрична риса – безконечний) простір.

Як буде сказано далі (розділ 3), наш тривимірний простір є евклідовим у відносно невеликих масштабах, але в цілому є замкнутим і скінченним, хоча поняття “скінченний” тут умовне.

Важливою топологічною характеристикою є *зв’язність*. Це, образно кажучи, здатність простору складатися з одної або декількох частин. Простір зветься однозв’язним, якщо будь-який замкнутий контур у ньому можна “стягнути” в одну точку. Так, площина і сфера є однозв’язними поверхнями. І навіть якщо шляхом неперервної деформації перетворити сферу в піраміду, то і ця фігура матиме ту ж топологічну зв’язність. З іншого боку, шляхом склеювання (і розривів), як ми вже бачили, можна змінювати топологічні властивості “просторів”.

Так, вище склеюванням листка паперу ми отримали циліндр. І ось тут замкнути контур, що утворився після співпадання двох точок, які раніше були на протилежних краях листа, аж ніяк не можна стягнути в точку! Тому кажемо, що циліндр має зв’язність $p=2$. Якщо замість паперу було взято еластичну гумову плівку, то далі, деформуючи циліндр та “зшиваючи протилежні кінці трубки”, отримуємо “бублик” – тор. Тут вже є два класи ліній (“меридіани”, що охоплюють

увесь тор, і “паралелі”, які описуємо “навколо циліндра”), які аж ніяк не можна стягнута в точки. Перетворити таку поверхню на однозв’язну (на частину площини) можна лише за допомогою двох розрізів, що перетинаються. Кажуть: зв’язність тора $p=3$. Отже, зв’язність вимірюється кількістю розрізів, що переводять фігуру в однозв’язну, збільшеною на одиницю.

З’ясування зв’язності реального космічного простору вважається одним із найактуальніших завдань космології. Грубо кажучи, питання полягає в тому, чи можна, накресливши увнутрішню сферу певного радіуса і зменшуючи його величину, стягнути її в точку без того, щоб не зустрітися з якимись “аномаліями”, де звичне для нас уявлення про простір зазнає краху. Деякі автори всерйоз розглядають моделі багатозв’язного Світу.

Ще однією із характеристик простору є його **орієнтованість**. Для прикладу візьмемо довгу паперову стрічку (дуже витягнутий прямокутник), зігнемо її, перекрутимо на півоберта і склеїмо протилежні вузькі краї. Очевидно, що в “невеликих масштабах” геометрія на такій поверхні не відрізняється нічим від евклідової. А проте жучок, який повзе на однаковій відстані від країв цього двовимірного простору, повернувшись у вихідну точку, опиниться на протилежному боці аркуша. Не виходячи за край поверхні, можна одним розмахом пензля помалювати її “лице” і “виворіт” в один колір. Якщо ж уявити цю стрічку рікою, то один її берег буде... продовженням іншого. Це – так звана **однобічна поверхня Мебіуса**, що є класичним прикладом “неорієнтованого двовимірного простору, де після “кругосвітньої” мандрівки виявляється, що “праве” стало “лівим”, “верх” перетворився на “низ” і навпаки. І про цю властивість простору космологи не забувають при своїх дослідженнях!

ПРО ЧИСЛО ВИМІРІВ ПРОСТОРУ. Увесь наш щоденний досвід доводить, що навколишній простір є тривимірним. Будь-яке тіло має протяжність у довжину, ширину і висоту. За допомогою трьох чисел вказуємо положення того або іншого тіла у просторі.

Але залишається відкритим питання: чому простір має *саме три* виміри? Бо ж, здавалося б, міг би реалізуватися і будь-який інший випадок: чотири- чи п'ятивимірний простір. На доказ тривимірності простору у різний час наводили “математичні”, “психологічні” та “фізичні” аргументи. Наприклад, французький математик **Анрі Пуанкаре** (1912 р.) твердив, нібито живі істоти вирізняють тривимірний випадок з усіх інших, щоб бути краще пристосованими у боротьбі за існування.

I. Кант, однак, пов'язав тривимірність простору з тим, що сила притягання між тілами змінюється обернено пропорційно квадратам відстаней між ними: “... з іншого закону випливала б і протяжність з іншими властивостями й вимірами”. Ці міркування можна переповісти так. Уявімо собі певне матеріальне тіло *A*, яке створює навколо себе центральносиметричне силове поле. З боку цього поля на іншу матеріальну точку *B*, яка міститься на відстані *r* від нього, діє сила, яка пропорційна кількості силових ліній, що припадають на одиницю площі сфери радіуса *r*. А що їхня кількість змінюється обернено пропорційно відстані *r*, то чим більшим буде радіус сфери, тим меншою буде сила, яка діє на точку *B*.

У тривимірному світі площа поверхні сфери прямо пропорційна квадратові її радіуса: $S=4\pi r^2$, а сила взаємодії між тілами обернено пропорційна квадратові відстані *r*: $F\sim 1/r^2$. Загалом же в *n*-вимірному евклідовому просторі поверхня сфери пропорційна r^{n-1} , а сила $F\sim 1/r^{n-1}$.

З аналізу випливають такі особливості світів, число виміру простору яких *n* відрізняється від 3. Лише у тривимірному світі матеріальна точка *B* (скажімо, планета) може здійснювати двоякий рух відносно силового центра *A* (Сонця): вона може рухатися навколо нього по еліптичній орбіті, тобто перебувати у “зв'язаному” стані, але може також, проскочивши поблизу силового центра, віддалятися від нього на нескінченність – рухатися по параболічній чи гіперболічній орбіті (такими є орбіти багатьох комет, рух відносно Землі космічного апарата, спрямованого до іншої планети).

Якщо $n=1$ або 2 , то матеріальна точка (планета), наче маятник, може лише здійснювати коливання “вправо” і “вліво” відносно центрального тіла, “проскакуючи” через нього. Відірвати точку В від силового центра та усунути її на нескінченність жодними зусиллями не вдалося б. При $n \geq 4$ (світ чотирьох і більше вимірів) існування планетних систем (тобто періодичний рух матеріальної точки відносно силового центра) виявляється взагалі неможливим.

Матеріальна точка В або падає на силовий центр А (на Сонце), або ж відлітає від нього на нескінченність.

Це стосується і світу атомів. В одно- і двовимірному світі електрон був би назавжди прикований до ядра. Ніякими зусиллями відірвати електрон, перевести його у вільний стан (іонізувати атом) не вдалося б. У таких випадках було б неможливе об’єднання атомів у молекули. У світі ж з $n \geq 4$ атоми водню та інших елементів існувати б, як такі, не могли: електрони неминуче падали б на ядра.

Зараз мовиться про те, що в мікросвіті (при $1_{pl} \leq 10^{-33}$ см) простір може мати більше вимірів. Ми спостерігаємо його як тривимірний тому, що при переході до більших відстаней “надлишкові” виміри *компактифікуються*, тобто згортаються. Так, з великої відстані здається, ніби стовп має лише один вимір – висоту, хоча зблизька сприймаємо і його товщину.

ЧАС. НАШЕ СПРИЙНЯТТЯ ЧАСУ. Серед найважливіших понять, на яких будується вся система людських знань, поруч із поняттям простору є поняття часу. Але це перше має великі переваги над другими. Простір можна бачити, можна охопити його поглядом. Часу ж ми не бачимо і не чуємо, ми його відчуємо. Але він нам дається не цілком: з усього ланцюга миттєвостей ми в кожен момент переживаємо лише одну – *тепер*.

У просторі можна вільно пересуватися у трьох напрямках— у трьох вимірах. Але ми не можемо робити це в часі. Не можемо за своїм бажанням повернутися в минуле, залишитися назавжди

в теперішньому чи здійснити мандрівку в майбутнє і повернутися назад.

Однак на підставі щоденного досвіду ми можемо стверджувати, що всі процеси навколишнього світу *відбуваються в часі*, що є чітке поняття “вчора”, “сьогодні” і “завтра”, що конкретні події відбувалися в минулому, відбуваються тепер або відбудуться в майбутньому.

Уявлення про простір і час є необхідною складовою частиною картини світу в цілому. Вони поглиблюються і розвиваються разом із розвитком науки. Як побачимо далі, проблема часу чи не найбільше хвилювала античних філософів. І це закономірно. Бо ж, як висловився англійський філософ **Дж. Уїтроу**, “простір здається нам даним увесь зразу, тоді як час постає перед нами лише кусниками. Минуле доводиться відновлювати за допомогою ненадійної пам’яті, майбутнє приховане від нас, і лише теперішнє безпосередньо переживається нами. Ця дивовижна відмінність простору і часу ніде не мала більшого впливу, як у фізичній науці, заснованій на понятті виміру”.

Аналогічно до того, як це йшлося про простір, здавна було розроблено і ряд систем поглядів на час і його властивості.

КОНЦЕПЦІЇ ЧАСУ. У розумінні часу історично склалося декілька концепцій чи систем поглядів. Ось найголовніші з них.

1. Час – це часткова і скінченна форма прояву абсолютної вічності, в якій перебуває Бог (Абсолютний Дух), це минуща тривалість буття усіх матеріальних тіл (**Платон, бл. Августин, св.Тома, Гегель**). За **Ньютоном**, це абсолютна, рівномірна, скрізь однакова тривалість, що не залежить від будь-яких впливів та матеріальних змін і є однорідною в усьому Всесвіті.

2. Час – це тривалість існування і міра всезагальних змін матерії, невіддільна від цих змін (**Аристотель, Декарт**). Декарт і Ляйбніц вважали, що ідею часу, як також простору, людина отримує не з досвіду, а що вона їх має у своїй душі від народження вже в готовому вигляді.

3. Час – це форма упорядкування комплексів відчуттів і дослідних даних (**Берклі, Юм, Мах**), це апіорна (лат. аргіогі – з попереднього, незалежно від досвіду) форма чуттєвого споглядання (**Кант**), це внутрішня основа суб'єктивного існування, яка зникає разом із зникненням особистого Я (нім. філософ-екзистенціаліст **Мартин Хайдеггер** (1889 – 1976 р.). Зокрема, Кант не вважав час (як і простір) властивістю самої природи. Людина, за **Кантом**, має “інтуїцію часу”, яка і дозволяє орієнтуватися у зовнішньому світі. Час (і простір) не притаманні світу як такому. Це лише “форми”, в яких людина сприймає світ.

ДАВНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ЦИКЛІЧНІСТЬ ЧАСУ. Як відомо, філософ **Платон** твердив, нібито всі тіла, що нас оточують, є ілюзіями, що вони насправді не існують. Це лише нібито “тіні”, бліді копії деяких вищих прообразів, оригіналів усіх речей, що їх він назвав *ідеями*. Ці ідеї, за Платоном, існують завжди у незмінному вигляді в певному ідеальному світі, де все досконале і вічне. Предмети ж нашого світу мінливі і минуці, а тому “позбавлені справжнього існування”.

Отже, за **Платоном**, щоб згладити недолік світу, Деміург (Творець) і придумав час: “Він замислив створити деяку рухому подобу вічності; влаштуовуючи небо, він разом з ним творить для вічності, яка перебуває в єдиному, вічний же образ, що рухається від числа до числа, який ми назвали часом”.

Таким чином, час для Платона – замітник вічності, її недосконале втілення у світі. Час тече і таким чином імітує вічність. Механізмом, який приводить час у рух, мало б бути обертання небесних тіл: “...щоб час народився від розуму і думки Бога, виникли Сонце, Місяць і п'ять інших світил, названих планетами... Усі ці світила, призначені брати участь в улаштуванні часу, отримали належний їм рух”. А що рух планет на небі є циклічним, то і час рухається по колу. Бо кожна з них, описуючи на небі петлі, повертається в те ж сузір'я. Як ось Юпітер за кожні 13 місяців зміщується на 40° “вліво”, у бік

сходу, тоді пересувається на 10° “вправо”, у бік заходу і повертається в те ж сузір’я через кожні 11,86 року.

Як видно, для Платона час і Всесвіт нероздільні. Саме обертання небес і зумовлює хід часу, це обертання творить для нас час. Якби небо зруйнувалося, то час також зник би.

Для давніх людей одвічна повторюваність природних явищ – зміна дня й ночі, фаз Місяця, пiр року, положень планет на небі серед зір – дала привід думати, нібито й усі інші явища, усі події, які відбуваються у світі, повторюються спочатку знову і знову. За цим поглядом, все те, що є тепер, вже колись відбувалося і в майбутньому буде повторюватися знову. Це наче рух по колу, який є обмеженим щодо тривалості, а водночас безконечним.

Саме так висловився філософ **Прокл** (V ст. н.е.): “Час не є подібним до прямої лінії, яка нескінченно продовжується в обох напрямках. Він є обмеженим і описує коло. Рух часу поєднує кінець із початком, і це відбувається незліченне число разів. Завдяки цьому час нескінченний”.

Таке уявлення про постійне повторювання циклів часу було відображене у відомому символі давніх римлян: змія (як уособлення часу) пожирає свій хвіст. З тих же міркувань давні греки і римляни очікували настання “золотого віку”, який колись нібито вже був за володарювання Сатурна і який знову має прийти на Землю. Тривалість цього циклу – Великого Року – оцінювали по-різному: за **Гераклітом** 10 800 років, за **Платоном** – 36000 років.

Аналогічне уявлення про циклічність часу існувало на Давньому Сході. Одним з його проявів є ідея *реінкарнації* (східн. термін – *самсара*, гр. *метемпсихоз*) – *перевтілення людських душ після смерті*. Іншим таким же проявом є *астрологія* – псевдонаука, в основі якої лежить уявлення, нібито певна подія, що стосується якоїсь людини, повториться знову, якщо конкретна планета займе своє місце у тому ж сузір’ї, де вона була, коли ця подія трапилася першого разу.

Річ ясна, в кожній людини є бажання в той чи інший спосіб, більшою чи меншою мірою відхилити завісу, за якою

приховується її, людини, майбутнє. Це вроджена психологічна потреба, що пов'язана, очевидно, з необхідністю мобілізації фізичних і духовних сил. Тому доки існує людство, завжди буде достатньо найрізноманітніших авантюристів, які будуть зловживати цією стороною людського психічного життя.

З іншого боку, факти бачення синхронних подій на відстані (*яснобачення*), подій минулих (*ретрогніція*) і майбутніх (*прекогніція*) в окремих випадках нібито й підтверджуються.

Ми не можемо остаточно заперечити це своєрідне обдарування людей.

“СТРИЛА ЧАСУ”. У Біблії, у християнстві – на відміну від наведених вище уявлень про циклічність часу – утвердився погляд, за яким час спрямований лінійно, від минулого до майбутнього. Зокрема, людина народжується, живе, умирає і постає на суд перед своїм Творцем (Євр. 9: 27).

Для **Аристотеля** “лінійність часу” пов'язана з тривалістю існування Всесвіту, який є нібито обмеженим у просторі, але вічним у часі. Бо ж часові, як і рухові, притаманна нескінченність: “що стосується часу і руху, то вони нескінченні...” Щоправда, тут же Аристотель зауважив, що “розгляд нескінченного має свої труднощі, оскільки багато неможливого настає і за визнання, і за заперечення його існування”. Аристотель дійшов також висновку, що час не слід ототожнювати з рухом, бо “рух може бути швидшим або повільнішим, або справді рівномірним чи нерівномірним, і ці терміни самі визначаються за допомогою часу, тоді як час не може бути визначеним сам по собі”. Для Аристотеля час є процесом лічби, заснованим у нашому уявленні про “до” і “після” у русі, причому “один і той же час є повсюди одночасно”. Це ж стверджував і учень Аристотеля Стратон Лампсакський, що “день, ніч і рік не є ні часом, ні частиною часу, але відповідно світлом і темрявою і обертанням Сонця та Місяця; насправді час є величиною, в якій вони існують”.

Течія часу від минулого до майбутнього вимагає свого наукового пояснення. Одну із таких спроб зробив австрійський фізик **Людвіг Больцман** (1844 – 1906 р.). Він висловив думку, за якою природа часу і напрям його течії пов'язані з необоротними фізичними явищами, як ось перехід тепла від нагрітих тіл до холодних (або як розпливання краплі сиропу в склянці мінеральної води). Інакше, це, як кажуть фізики, – перехід до стану термодинамічної рівноваги. Ця тенденція нібито є всезагальною, бо скрізь у природі ми зустрічаємося зі зменшенням упорядкованості і збільшенням хаосу з часом.

Тут, однак, залишається нез'ясованим, як цей процес пов'язується з елементарним механічним явищем – з коливанням маятника, періодичним процесом, що є ідеальним мірилом часу. Створюється враження, нібито маятник якимось чином відчуває устремління у Всесвіті до стану термодинамічної рівноваги. Але в такому разі мусив би бути якийсь механізм фізичної дії з боку Всесвіту на маятник, що, однак, довести не вдасться.

Серед справді глобальних явищ, з якими можна була б пов'язати течію часу, привертає до себе увагу розширення Всесвіту. Саме таку гіпотезу висловив англійський вчений **Артур Еддінгтон** (1882 – 1944 р.). Це він уперше вжив поняття *стріла часу*.

Однак хоча розширення Всесвіту – явище справді вражаюче, то воно проявляється лише у взаємному віддаленні скупчень галактик. У менших масштабах як розміри галактик, так і відстані між ними в межах окремих скупчень, тим більше це стосується відстаней між зорями всередині галактик, *не змінюються*. Незмінними залишаються розміри планетарних орбіт, радіуси зір, Сонця і планет – вони на згадане явище розширення Всесвіту не реагують. А отже, якщо саме розширення Всесвіту визначає течію часу, то знову ж таки невідомо, як воно передає це устремління усім іншим явищам і процесам у природі, включаючи коливання маятника.

Близько 300 років тому **Ляйбніц** (1646 – 1716 р.) зформулював проблему часу так: час тече від причини до

наслідку. Згодом француз **П'єр Лаплас** (1749 – 1828 р.) виклав це такими словами: “Ми повинні розглядати нинішній стан Всесвіту як наслідок його попереднього стану і як причину наступного”. Те, що кожне явище у світі має свою причину і є її наслідком, не викликає сумніву. Однак і тут є непереможні труднощі. Бо, зокрема, неможливо збагнути вплив поля тяжіння на хід часу, збагнути, як перехід від причини до наслідку зумовлює течію часу, тобто як він створює стрілу часу.

Як визнано, наведене вище розмірковування Лапласа створює сильне враження, але воно помилкове. Річ у тім, що цей учений всю багатоманітність природи намагався звести до механічних рухів. Насправді ж *природа значно багатша, і її закони не зводяться цілком до законів механічного руху.*

До того ж зовсім нелегко в тезі “час тече від причини до наслідку” (чим забезпечується створення стріли часу) збагнути, як саме здійснюється перехід, навіть – що означає це поняття “перехід”, як і поняття “створює”. Не випадково бл. **Августин** (354 – 430 р.) заявив: “Я прекрасно знаю, що таке час, доки про це не думаю. Але варто задуматися – і ось я вже не знаю, що таке час”...

Лінію, на якій накреслено стрілу часу, можна продовжити “вліво” і “вправо”. Інакше кажучи, логічно ставити питання про “вічність існування світу в часі”, на чому донедавна наполягав діалектико-матеріалістичний світогляд. Як буде детальніше з'ясовано далі (Розділ 3), сучасна астрономія дала переконливі докази того, що Всесвіт існує близько 15 млрд. років. Тут підкреслимо, що саме так розв'язував цю проблему бл. **Августин** 1500 років тому, поставивши питання так: “Бачачи, отже, що Бог, вічність якого незмінна, створив світ і час, як можна говорити, що Він створив світ у часі, коли ви лише не хочете сказати, що було щось створене перед світом, яке стало передумовою світу?” І ось відповідь бл. Августина: “Істинно світ був створений з часом, а не в часі, бо те, що створено в часі, існує до деякого часу і після деякого часу”.

Заслужують уваги і ось ці слова св. **Томи Аквінського** (1225 – 1274): “найдійовішим засобом для доказу існування Бога

є припущення про новизну світу, а не його вічність, бо коли покласти, що світ вічний, то існування Бога виглядає менш очевидним”.

Як вже мовилося (і буде ще не раз підкреслено нижче), саме так це питання розв’язується сучасною космологією.

Тут доречно згадати одну із чотирьох зформульованих Кантом *антиномій* (від гр. “проти закону”) – двох протилежних положень, кожне з яких, взяте зокрема, може бути логічно доведене: “Світ має початок у часі. Світ вічний у часі”. Тезу цієї антиномії Кант доводив так: “Справді, припустимо, що світ не має початку в часі. Тоді до будь-якого заданого моменту проминула вічність і, отже, пройшов нескінченний ряд станів речей у світі, що змінюють одне одного. Але нескінченність ряду саме в тому і полягає, що він ніколи не може бути закінченим шляхом послідовного синтезу. Отже, нескінченний минулий світовий ряд неможливий, значить, початок світу є необхідною умовою його існування, що й треба було довести...” Доведення ж антитези є таким: “Справді, припустимо, що світ має початок [в часі]. Оскільки початок є існування, якому передуює час, коли речі не було, то колись повинен би існувати час, в якому світу не було, тобто порожній час. Але в порожньому часі неможливе виникнення якої б то не було речі, оскільки ні одна частина такого часу у порівнянні з іншою частиною не вміщує в собі умови існування, що відрізняється від умови неіснування (однаково, чи виникає воно само собою чи від іншої причини). Тому хоча деякі ряди речей і можуть мати початок у світі, але сам світ не може мати початку і, отже, відносно минулого часу є нескінченним”.

Як відомо, антиномії Канта “були критично розглянуті німецьким філософом **Георгом Гегелем** (1770 – 1831 р.), який і відмітив, що насправді антиномій може бути безліч, бо кожне поняття є єдністю протилежних моментів, яким можна надавати форму антиномій. Кант же, виявивши наявність діалектичних суперечностей у мисленні, зробив зі своїх антиномій висновок про нездатність розуму пізнати суть речей. Самі ж кантівські

докази в принципі неспроможні, оскільки поняття скінченності і нескінченності мають аксіоматичний характер.

ГЛИБШІ ТАЄМНИЦІ ЧАСУ. Упродовж століть найбільш прийнятною була модель неперервного тривимірного простору і такого ж, але одновимірного часу. Ця модель має назву континуальної,

або континууму. Зокрема, щодо часу, то **Аристотель** у своїй “Фізиці” писав: “Оскільки будь-який рух відбувається в часі і в кожен час може відбуватися рух, і оскільки, далі, все, що рухається, може рухатися швидше або повільніше, то в будь-який час буде відбуватися і швидший і повільніший рух. Якщо ж це так, то і час повинен бути неперервним. Я розумію під неперервним те, що може бути розділене на завжди подільні частини”.

У Давній Греції зформувався і протилежне поняття, за яким час складається з окремих неподільних малих одиниць – *атомів часу*, що мали назву “хрононів”. Цю ідею відстоював інший учень Платона – **Ксенократ** (+314 до н.е.). Фактично ж обидва уявлення, як про неперервність, так і дискретність простору і часу, співіснували принаймні з V ст. до н.е., і важка проблема вибору одного з них відображена у вже згадуваних апоріях **Зенона** Елейського. Апорії поділяються на дві групи. У першій час і простір розглядаються як дискретні, у другій як подільні до нескінченності. У вже згадуваній апорії “Ахілл і черепаха” Зенон доводив, що коли час і відповідно простір нескінченно подільні, то рух неможливий. Але рух, на думку Зенона, буде неможливим і у випадку, коли час складається з неподільних моментів, проти цього уявлення спрямована апорія “Стріла”: “Стріла, що летить, перебуває у спокої, займає рівний йому об’єм і коли всяке тіло, яке летить, в будь-який момент часу займає об’єм, рівний самому собі, то воно не може рухатися”.

Апорії Зенона привертають увагу філософів дотепер. Загально визнано, що за своєю глибиною вони мали величезний вплив на розвиток науки.

Думку про те, що час складається з окремих миттєвостей, обґрунтовував римський учений **Марціан Капелла** у V ст. н.е. Згодом, у XII ст. єврейський філософ **Маймонід** (+1204 р.) вважав, що Всесвіт існував би лише в один з цих моментів, якби Бог неперервно не відновлював його. Аналогічно і деякі арабські філософи (зокрема мусульманські богослови – мутакалліми) дотримувалися погляду, що час складається з “тепер” і що “Аллах щомиті творить світ заново”.

Питання про існування “атомів часу” чи найменших його структурних одиниць і тепер залишається відкритим. Але сьогодні принаймні вже можна стверджувати, що коли така найменша одиниця часу і є, то цей проміжок часу не перевищує так званої планківської величини, тобто величини 10^{-43} с.

Однією з невід’ємних властивостей часу, яка впливає з нашого щоденного буття, є його однорідність, тобто однаковість, нерозрізнимість і рівноправність усіх його моментів. Час має властивість **симетрії** (гр. *συμμετρία* – гармонія, співрозмірність). Звичайно **під симетрією розуміють тотожність у розташуванні структурних елементів об’єкта відносно якоїсь точки чи осі. Однорідність** – інший приклад симетрії, це симетрія відносно зсуву. Наприклад, на ідеально прямій, наче стріла, автостраді змагання (гонки) можна розпочинати з будь-якого місця, їхній перебіг і результат не залежить від того, де було здійснено старт.

Таким же однорідним, як ідеальна автострада, є абсолютний час класичної фізики. Для нього притаманна симетрія відносно зсувів моменту, який приймається за початковий. Якщо зсувати “нуль часу” вперед у майбутнє чи назад у минуле, відрізок часу між двома певними подіями буде однаковою і не залежатиме від зсуву.

Однак теорія відносності внесла істотні корективи у ці уявлення про час. Ось передовсім висновок спеціальної теорії відносності, яка займається вивченням особливостей руху тіл зі швидкостями, близькими до швидкості світла c : проміжок часу між двома певними подіями є найменшим у тій системі координат, відносно якої ці події відбувалися в одній точці. Тут

виявилось необхідним ввести два різні поняття часу – *власного часу* τ , виміряного у системі координат, в якій відбувається подія, і *координатного часу* t , що його вимірює спостерігач, приймаючи сигнали від об'єкта, який рухається відносно спостерігача зі швидкістю v , близькою до швидкості світла c (при малих швидкостях різниця в інтервалах власного і координатного часу не виявляється).

Ще складнішою є ситуація в загальній теорії відносності. Як виявилось, на темп перебігу часу істотно впливає неоднорідність розподілу мас у Всесвіті. Інакше – різні фізичні умови у різних точках простору створюють неоднорідність часу, нерівноправність його окремих інтервалів. Щоправда, йдеться в обох випадках про вимірювання саме *інтервалів часу* – проміжків між двома певними подіями!

Сучасна фізика також не в змозі з'ясувати, як відбувається акт випромінювання кванта світла. Як виглядає, час, за який відбувається це явище, виступає перед нами як неподільний відрізок, у ньому неможливо відрізнити окремі моменти і з'ясувати, які з них сталися раніше, а які пізніше. Важливе тут і те, що всі наші знання про згадані процеси випромінювання квантів енергії ми отримуємо на основі вимірів, де приладами є врешті-решт ті ж атоми. І неможливо дізнатися про час щось більше, ніж нам розповідають ці годинники.

Властивості часу, що їх встановлено у класичній механіці, яка відображає ситуацію у макросвіті (і лише в ньому), не підлягають сумніву. Однак вони не дають жодних вказівок щодо його, часу, глибинного змісту. Теорія відносності показала, що час не є абсолютним щодо одночасності подій і темпів його перебігу, що сили тяжіння сповільнюють його течію. Але якраз це наводить на думку, що причина перебігу часу не пов'язана ні з рухом, ні з тяжінням, що вона скоріше знаходиться поза ними.

Дискутується сьогодні питання і про те, чи не може час мати більше, ніж один вимір. Так, **А. Еддінгтон** висловив гіпотезу, за якою одновимірність часу – це властивість лише близької до нас частини світу, що на більших відстанях час

може бути, наприклад, двовимірний. Висловлюються гіпотези, що час (як і простір), може мати найрізноманітнішу топологію, загалом – що його властивості “у великих масштабах” можуть бути істотно складнішими й різноманітнішими, ніж це ми уявляємо собі сьогодні. Усе це поки що залишається нез’ясованим.

Що ситуація тут може виявитися значно складнішою, відповідні здогади висловлювалися неодноразово багатьма філософами і фізиками. Так, в одному з рукописів **І. Канта** знайдено таку фразу: “Простір і час можливі лише як частини ще більшої кількості”. **Аристотель** же у 4-й книжці своєї “Фізики”, обговоривши властивість часу змінюватися від минулого до майбутнього (давність часу: минуле вже пройшло, майбутнє не настало, а теперішнє не має тривалості), завершив свої розмірковування словами: “А що таке час і яка його природа, однаково неясно як з того, що нам передано від інших, так і з того, що нам довелося розглянути вище”...

Звичайно, сьогодні ми знаємо про час незрівнянно більше, ніж Аристотель. Однак, як виглядає, з огляду на те, що світ є таким різноманітним і невичерпним, на питання “що таке час” наука так і не зможе отримати будь-коли чітку остаточну та однозначну відповідь.

ПРО ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИНИ. Ряд надзвичайно важливих думок, які стосуються найзагальніших властивостей речовини, її руху і розвитку у просторі та часі, висловили ще давньогрецькі філософи. Ось деякі приклади уявлень, що зародилися близько 2500 років тому та зберегли свою актуальність і тепер.

Давні греки сформулювали ідею про всезагальну першооснову речей – єдину матеріальну **субстанцію** (лат. substantia – сутність, те, що лежить в основі) її різні поєднання і мали б зумовлювати всю багатоманітність **форм** навколишнього світу (лат. forma – зовнішність). Згадана субстанція є нібито і причиною самої себе, як також основою усіх змін. Закони ж цих змін є первинними принципами буття.

Щоправда, перший і видатних грецьких філософів **Фалес Мілетський** (VI ст. до н.е.) *за таку першооснову речей приймав воду*. Його учень **Анаксимандр** (+546 до н.е.) вважав, що нею є деяка невизначена матерія **апейрон**, яка безконечна, вічна та існує в русі, переходячи з одного стану в інший. Ця неозначена матерія нібито спочатку виділила з себе протилежності – тепло і холод, завдяки яким і з'явилися конкретні речі світу: спочатку внаслідок взаємодії тепла і холоду утворилася вода, а її висихання зумовило появу вогню, повітря і землі. За **Анаксименом** (+525 до н.е.) першоосновою матерії є **повітря**, яке при розрідженні стає вогнем, а при згущенні хмарами, водою, землею. За **Гераклітом** (+470 до н.е.) – це *вічно живучий вогонь*.

Куди ближчими до істини були філософи **Анаксагор** (+428 до н.е.) і **Демокріт** (+370 до н.е.). Перший стверджував, що всі речі складаються з первинних найдрібніших і найрізноманітніших частинок – гомемерій, тобто своєрідних зернин, які існують вічно і які не перетворюються одна в одну. За Демокрітом, першоосновою світу є **атоми** – найдрібніші, невидимі для ока неподільні частинки, вони вічні та незмінні, безконечно різноманітні за формою. Саме з них складаються всі речі. У світовій порожнечі легкі атоми рухаються з меншими швидкостями, важчі з більшими, тому вони наздоганяють один одного, ударяються і об'єднуються за допомогою спеціальних гачків.

Глибокий вплив на подальше осмислення навколишньої реальності мало введення **Аристотелем** поняття про діяльне, формуюче начало, яке приховане у кінченному бутті до його здійснення. Це **ентелехія** (гр. εντελεχεια – здійсненність), внутрішня мета руху, яка перетворює можливість у дійсність. Щоправда, в питанні про першооснову буття погляди Аристотеля були кроком назад у порівнянні з уявленнями **Демокріта**. Так, він уважав, що зміни у світі відбуваються внаслідок боротьби протилежних якостей – тепла і холоду, сухості та вологи. Попарно поєднуючись, вони нібито утворюють первинні елементи: теплий і сухий вогонь, тепле і

вологе повітря, холодну і вологу воду, холодну і суху землю. З них далі і формуються всі речі у світі. Що ж до небесних світил, то вони сформовані з іншої, незмінної та незнищеної форми матерії – “п’ятої сутності” (“квінтесенції”), яку Аристотель назвав *ефіром*.

Атомістична концепція стимулювала наукову думку, за її допомогою розкрито фізичні властивості речовини, структуру матеріальних тіл. Своє “друге дихання” вона отримала у XVII ст. завдяки розвитку конкретних наук – класичної механіки, хімії, біології, а також – розвитку виробництва, що потребував глибшого вивчення процесів і явищ природи.

РОЗВИТОК УЯВЛЕНЬ ПРО МАТЕРІЮ. *Під матерією розуміють сукупність усіх існуючих у світі об’єктів і систем, зв’язків, відношень і форм руху*, включаючи і ті, які сьогодні ще не виявлено. Мовиться, що весь навколишній Всесвіт заповнений матерією в її найрізноманітніших формах.

Довгий час поняття *матерія* ототожнювалося з поняттям *речовина*, з *масою* як мірою її кількості. Розвиток же науки поступово привів до визнання того, що природа земної речовини і “речовини небес” є однакова. Чи не перший конкретний здогад щодо цього висловив учений-кардинал **Микола Казанський** (1401 – 1464) у праці “Про вчене незнання” (1440 р.) словами: відносно речовини, з якої складається Земля і небесні тіла, між ними немає жодної різниці, бо Земля – таке ж небесне тіло, як Сонце, Місяць та інші світила.

З часів Галілея основним методом дослідження природи, зокрема будови матерії (речовини) став експеримент. Досліджуючи речовину в різноманітних “незвичайних” умовах – її кип’ятінні, спалюванні, розчинюванні, змішуванні з іншими речовинами, природознавці (конкретно хіміки) у кожному окремому випадку виділяли субстанцію, яку вже не вдалося розкласти або розщепити ніякими засобами. Її й було названо *елементом*, згодом – *хімічним елементом*. Так усю багатоманітність наявних у природі речовин було зведено до відносно невеликої кількості простіших складових, елементів.

Це дало привід, після двадцяти століть забуття, французькому філософу **П'єрові Гассенді** (+1655 р.) відродити у 1647 р. ідею атомізму (хоча дещо раніше, у 1626 р., в Парижі вчення про атоми було заборонене під страхом смертної кари). Згодом

Роберт Бойль (+1691 р.) визначив хімічні елементи як “певні примітивні або прості чи зовсім не змішані речовини”. Першу таблицю близько 30 елементів склав француз **Антуан Лавуазьє** (+1794 р.). У 1808 р. англієць **Джон Дальтон** (+1844 р.) визначив елемент як речовину, що складається з атомів одного виду. У 1814р. **Йєнс Берцеліус** (+1848 р.) для 49 відомих тоді елементів увів сучасні позначення за першими літерами їх латинських і грецьких назв. А в 1869 р. росіянин **Дмитро Менделєєв** (+1907 р.), маючи дані про 63 елементи, склав свою знамениту таблицю, причому лише для 36 з них їх атомна вага зростала “як належало”, для 20 цей принцип був порушений, для 7 учений атомні маси виправив, виходячи із розмірковувань “так повинно бути”, а при цьому ще й передбачив відкриття 5 тоді не відомих елементів. Завдяки цьому, як висловився фізик **Вернер Гайзенберг**, “серед різноманітних явищ хімії (додамо – і природи в цілому – І.К.) було встановлено певний порядок”. Атом став “найдрібнішою одиницею матерії, яка входить у склад хімічного елемента”.

Щоправда, філософи XIX ст. одностайно заперечували існування атомів. Так, **Артур Шопенгауер** (+1860р.) відгукувався про них не інакше, як про “видумку неграмотних аптекарів”.

Загалом картина світу, що складалася з часів Галілея, була, як це прийнято говорити, механістичною. У неї не вписувалися явища оптичні, всебічне вивчення яких саме з часів Галілея розпочалося. Зокрема, при дослідженні явища поширення світла – за аналогією зі звуком як поздовжніми коливаннями елементів повітря – довелося ввести поняття про ефір як найтоншу субстанцію, що рівномірно заповнює весь світ. Проте дуже швидко виявилось, що уявлення про світло як поздовжні хвилі є хибним. Було доведено, що світлові пучки,

які поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах, не взаємодіють (не інтерферують). Тому й зроблено висновок, за яким світлові хвилі є не поздовжніми, а поперечними. Але в такому разі їх поширення видавалося можливим лише за умови, що ефір має властивості твердого тіла! До того ж у ХІХ ст. завдяки всебічним дослідженням електричних і магнітних явищ та їх взаємозв'язку появилася нова галузь фізики – електродинаміка. Світло ж виявилось однією з форм електромагнітних хвиль, що поширюються зі швидкістю 300 000 км/с. Стало очевидним, що в природі крім речовини існує ще одна реальність – *електромагнітне поле*.

Конкретно на початку ХХ ст. було з'ясовано, що речовина як така охоплює ту частину матерії (об'єкти і системи), маса спокою якої не рівна нулеві. Електромагнітне ж поле виявилось потоками квантів (від нім. Quant – порція, цей термін належить Айнштайну), для яких маса спокою рівна нулеві.

Отже, найголовнішим висновком ХІХ ст. напевне можна назвати здогад про існування ще одної форми існування матерії – *поля*. Історично першим із виявлених полів було поле електромагнітне.

БУДОВА АТОМА. Як згадано, первісне значення слова “атом” було “неподільний”. Однак уже з початком ХІХ ст. деякі вчені доходили висновку, що у з'ясуванні “першооснов усіх речей” можна очікувати різних несподіванок. Тому, скажімо, у 1815 р. англійський лікар і хімік **Уільям Проут** (+1854 р.), не сумніваючись, висловив думку, згідно з якою всі хімічні елементи утворилися із найлегшого з них – водню – завдяки його послідовній конденсації.

Тоді ж, на початку ХІХ ст., було розпочато вивчення лінійних спектрів різних елементів (до речі, слово spectrum означає не що інше як “дух”, “привид”!). Було виявлено, що в кожного з елементів цей спектр дещо інший, як також зроблено висновок, що лінійний спектр виникає внаслідок певних процесів, які відбуваються всередині атома. Звідси випливало, що атом має певну структуру. Невдовзі при дослідженні явища

електролізу обчислено заряд, що його переносить із собою одновалентний іон. У 1891 р. цю найменшу кількість заряду – “атом електрики” – було названо електроном. Через кілька років, у 1897 р., було відкрито і саму частинку *електрон*.

Щоправда, фізик **Олівер Лодж** (+1921 р.) у 1902 р. писав, що “електрон – це чисто гіпотетичний заряд, ізольований від атома”, а **Вільгельм Рентген** (+1923 р.) сумнівався в його існуванні навіть у 1920 р. ...

Певний час проблема будови атома залишалася нез’ясованою. Як своєрідний курйоз можна згадати: у 1905 р. розглядалася гіпотеза, за якою “атом кисню має форму кільця, атом сірки – млинця”. І лише в 1911 р. англієць **Ернест Резерфорд** (+1937 р.) довів, що атом подібний до Сонячної системи: він складається з дуже щільного ядра, навколо якого обертаються електрони. У 1913р. було зформульовано тезу: порядковий номер елемента у таблиці Менделєєва рівний заряду ядра його атомів.

Водночас на початку ХХ ст. вже було відомо: рухомий електричний заряд, “проскакуючи” поблизу іона (атомного ядра), обов’язково втрачає (випромінює) свою енергію. А тому в атомі електрон не може утримуватися на своїй орбіті, а за частки секунди мав би впасти на ядро. Ситуацію “врятував” датчанин **Нільс Бор** (+1962 р.), який у 1913 р. зформулював такі два постулати: 1) в атомі існують орбіти, рухаючись по яких електрон не випромінює, і 2) випромінювання окремих порцій – квантів світла відбувається лише при переході електрона з однієї орбіти на іншу.

ПРО РУХ І ЕНЕРГІЮ. Як уже згадано, **Платон** вважав, що час і рух – це одне і те ж, що вони тотожні одне одному. Цю думку заперечував **Аристотель**, стверджуючи: “Час є числом руху”, тобто час дає міру для руху. Завдяки часу маємо *кількісну міру* руху. Наприклад, можемо з’ясувати, який рух відбувається швидше, який повільніше.

Давньогрецькі ж філософи поставили питання про принципову можливість руху, як це видно з апорій Зенона, що зветься “Дихотомія” (διχα – пополам, τομος – шматок): “Наш рух

ніколи не може розпочатися, бо перед тим, як пройти якусь відстань, ми повинні спочатку пройти її половину. А щоб пройти половину, необхідно подолати її четвертину, і так до безконечності. Отже, щоб пройти якусь відстань за скінченний час, нам необхідно здійснити за цей час безконечне число дій”. Це відкидалося, як неможливе. Отже, тоді є неможливим і рух.

Висновок: поділ шляху і часу не може відбуватися до нескінченності. І мова в апоріях повинна йти про виконання за скінченний час скінченного числа дій. Тут наявна суперечність, яка – в самій природі руху. Це не помилки розуму, а відображення складності самої природи руху, діалектичної суперечливості його характеру (*διαλεκτική* – це мистецтво вести бесіду). Ось як про це сказав німецький філософ **Георг Гегель** (1770 – 1831): “Рухатися означає бути в певному місці і водночас не бути в ньому, – отже, перебувати в обох місцях одночасно; у цьому полягає неперервність часу і простору, яка єдино лише і робить можливим рух”. Тому й **Аристотель назвав Зенона першим діалектиком** – людиною, яка зуміла розглядати дійсність в її русі, розвитку і суперечностях.

З XVII ст. у фізику поступово вхопить поняття **енергії** (*ενεργεια* – діяльність) як міри руху. В середині XIX ст. було сформульовано **закон збереження енергії**, який у термодинаміці (розділ фізики, що вивчає закономірності теплового руху) отримав назву – **перше начало**. У 1918 р. німецький математик **Еммі Нетер** (1882 – 1935) довела таку теорему: **закон збереження енергії виконується тому, що час має властивості симетрії** (однорідності відносно зсуву).

НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМІКИ. Із щоденної практики знаємо, що нагріті тіла охолоджуються, передаючи частину своєї теплової енергії холоднішим тілам. Узагальнено це формулюється так:

В ізольованих від зовнішніх дій фізичних тілах, залишених на самих себе, усі теплові явища неодмінно розвиваються в одному напрямі – у напрямі вирівнювання температури.

У цьому суть **другого начала термодинаміки**, яке виражає найзагальнішу властивість природи поруч із **законом збереження енергії – першим началом термодинаміки**. Узагальнюючи, можна сказати, що ізольована фізична система завжди переходить до стану, в якому досягається найвищий рівень однорідності – вирівнювання температури, хімічного складу, концентрації частинок тощо. Такий стан названо станом **термодинамічної рівноваги**.

Друге начало термодинаміки має багато формулювань. Ось ще два:

– теплота не може сама по собі переходити від тіла з нижчою температурою до тіла з вищою температурою;

– природа прямує від станів менш імовірних до станів більш імовірних.

Розглянемо приклад необоротного фізичного процесу – розповзання краплі сиропу (або чорнила) у посудині з водою. Це явище можна описати і так: у початковий момент часу середовище було у стані високої організації, у стані високої впорядкованості. В одному місці – в одній краплині води – знаходилася певна кількість барвника, тут була лише речовина з винятковими фізико-хімічними властивостями, навколо неї ж – звичайний розчинник, без найменших домішок барвника. З часом, однак, відбувається руйнування такого стану високої впорядкованості, а отже, зростання хаосу. Тому другий закон термодинаміки має ще й таке формулювання:

Будь-яка **замкнена система**, залишена на саму себе, змагає до саморуйнування. Або інакше: процеси, які відбуваються у такій системі, з часом стають невпорядкованими.

Всередині минулого століття було введено поняття **ентропії** (ϵv – в, тропη – перетворення) – фізичної величини, значення якої при зростанні хаотичного стану в системі збільшуються. І отже, другий закон термодинаміки звучить ще й так:

У природі для кожної системи тіл існує деяка величина – ентропія S , яка при всіх змінах, що відбуваються у цій системі, або залишається сталою (при оборотних процесах), або зростає.

Обидва закони термодинаміки у своїй сукупності призводять до такого висновку. Енергія у системі може зберігатися, однак внаслідок вирівнювання температури її окремих тіл ця енергія втрачає свою активність. Отже, в такій системі будь-які зміни стають неможливими. Це – стан *теплової смерті*.

Тим часом кожна жива істота на Землі є зразком різкого відхилення від другого закону термодинаміки, бо вона є носієм величезної глибоко осмисленої інформації. Будь-яке ж нагромадження інформації – це упорядкування, зменшення хаосу, а отже, зменшення ентропії (див. § 4.).

Далі (саме в § 4) заторкнемо висновки, зроблені **І.Пригожиним** щодо “поведінки відкритих систем” – можливості в них *самоорганізації*. Применшувати важливість цих досліджень не можна. Але і перебільшувати – не слід. Наведемо тут слова О.В.Петренка з його статті “Роздуми фізика про таємницю творення Всесвіту” /журн.: *Фома*, № 1 (4), М., 1997/: “Декілька слів тут доречно сказати про деструктивну роль так званої брюссельської наукової школи, яку очолює І.Пригожин. Її основоположний тезис має відкрито богоборчий характер”. Мовляв, “хаос творить порядок” сам без будь-якої сторонньої допомоги: тим часом усе це базується на неправильній інтерпретації деяких фізичних експериментів, фальшивість якої нещодавно була переконливо показана...” /УФН, 1994, т164, №3, с.297/.

Захопившись ідеями синергетики, деякі вчені “з легкістю” – за їхньою допомогою – пояснюють навіть “монтування рецептів само відтворення у світі живих форм”, хоча від деякого *упорядкування* речовини до її *самоорганізації* (а саме це перше у змозі пояснити синергетика) – як від землі до неба...

4. Концепції системності в природі

ПОНЯТТЯ СИСТЕМИ І СИСТЕМНОСТІ. За проміжок часу близько ста років – від середини ХІХ до середини ХХ стт. – з'ясовано головні принципи термодинаміки і кінетичної теорії газів, у другій половині згаданого проміжку ще, до того ж, з урахуванням квантових тонкощів фізики елементарних частинок. При цьому загальноприйнятим стало поняття *ансамблю* частинок (від фраз. ensemble – разом). Встановлені тоді ж три *закони термодинаміки* стали своєрідним “регулятивним принципом” і в підході до з'ясування проблем “великого Всесвіту”, і до проблем біології. Йдеться передусім про другий закон (начало) термодинаміки, неминучим висновком з якого є руйнування стану високої впорядкованості, а отже, зростання хаосу”. Такому уявленню Природа, як побачимо далі (§ 9), “заявила” рішучий протест: “початок” Всесвіту можна уявляти як стан виняткової однорідності, який в подальшому змінювався станами поетапного зростання неоднорідності, різнобічного ускладнення, структуризації.

Тож у середині ХІХ ст. поступово викристалізовується нова концепція природознавства. Як зауважив **Фритьоф Капра** у книжці “Павутина життя” (2002 р.), “ми стоїмо на порозі фундаментальних змін у науковому і соціальному світогляді, зміни *парадигм*, яка за своєю радикальністю порівнянна з революцією Коперника”. Саме поняття наукової парадигми увив Томас Кун, визначивши його як “сукупність досягнень... понять цінностей, технологій і т.п. ..., прийнятих науковим співтовариством і використовуваних ним для визначення справжніх проблем та їх вирішення”. За уточненням Ф.Капра, *парадигма формує певне бачення реальності, “на основі якого суспільство організовує себе”*.

Ще одне поняття, що стає вже звичним при з'ясуванні тих чи інших природознавчих питань, є паттерн (англ. – зразок, візерунок, шаблон). Отже, *паттерн* – це *конфігурація упорядкованих взаємовідношень, типових для певної системи*. Читаємо в **Ф.Капра /КФ**, с. 34/: “На світанку розвитку

західної науки і філософії піфагорійці розрізняли число, або *паттерн*, від речовини, або *матерії*, розглядаючи перше як щось обмежуюче матерію і надаюче їй форму... Дискусія набула такої форми: “Ти питаєш, з чого це зроблене – із землі, вогню, води і т.п.?” Або ти запитуєш: “За якою моделлю, за яким паттерном це зроблене?” Піфагорійці наполягали на тому, щоб вивчати паттерн, а не досліджувати речовину”.

Аристотель, перший біолог у західній традиції, також проводив різницю між матерією і формою, водночас поєднуючи їх через процес розвитку. На відміну від Платона, Аристотель вважав, що формі не притаманне ізольоване існування і що вона іманентна матерії. Матерія також не може існувати окремо від форми. Матерія, за **Аристотелем**, містить у собі сутнісну природу усіх речей, але лише як можливість. За допомогою форми ця сутність стає реальною... Процес самореалізації сутності в реальних явищах був названий *ентелехією* (“самозавершенням”). Матерія і форма – дві сторони цього процесу, їхнє розділення можливе лише через абстракцію” /КФ, с. 34/.

І далі: “**Тете**... першим використав термін *морфологія* при вивченні біологічної форми... і розумів форму як модель взаємовідношень всередині організованого цілого. На початку ХХ ст. ... **Росс Харрісон** ... дослідив концепцію організації, яка поступово витіснила старе поняття функції у психології. Це *зміщення від функції до організації* знаменує перехід від механістичного до системного мислення, оскільки функція, за своєю суттю, є поняття механістичне. Харрісон визначив конфігурацію (форму) і взаємозв’язок як два важливі аспекти організації, які згодом були об’єднані в поняття паттерна...”

Біохімік **Лоуренс Хендерсон** ... застосував термін *система* як до живих організмів, так і до соціальних структур. Почавши з цього часу, *системою прийнято вважати інтегроване ціле, істотні особливості якого формуються через взаємозв’язки його частин. Системним мисленням назване розуміння феномена в контексті ширшого цілого*. Бо ж грецьке *синхистанай* – це “розташовувати разом”. Розуміти речі

системно означає дослівно: поміщати їх у певний контекст, встановлювати природу їх взаємозв'язків. ...

Згідно з системним поглядом, істотними властивостями організму, або живої системи, є властивості цілого, яких не має жодна з його частин... і природа цілого завжди відрізняється від простої суми його частин.

Виникнення системного мислення стало справжньою революцією в історії західної наукової думки. Переконавання, що в будь-якій складній системі поведінка цілого може бути цілком збагненна на основі властивостей його частин, було центральним у картезіанській парадигмі. Саме знаменитий декартівський метод аналітичного мислення був суттю сучасної наукової думки. При аналітичному, або редукціоністському, підході частини аналізували діленням на ще менші... ***Найбільшим шоком для науки ХХ ст. став той факт, що систему не можна зрозуміти за допомогою аналізу.*** Властивості частин не є їх внутрішніми властивостями, але можуть бути осмислені лише в контексті більшого цілого..., можуть бути виведені лише з організації цілого. Відповідно, системне мислення не концентрує увагу на основних "цеглинках", а цікавиться головними принципами організації. Системне мислення контекстуальне, що є протилежністю до аналітичного мислення.

Те, що система є інтегрованим цілим, яке неможливо збагнути засобами аналізу, виявилось ще більше шокуючим у фізиці, ніж у біології... Так, квантова фізика показує, що ми не можемо розкласти світ на незалежно існуючі елементарні одиниці. В міру того, як ми зміщуємо Фокус нашої уваги від макроскопічних об'єктів до атомів і субатомних частинок, природа не демонструє нам ніяких ізольованих будівельних блоків; замість цього з'являється складна павутина взаємовідношень між різними частинами єдиного цілого. Як це висловив **Вернер Гайзенберг**: "Світ виявляється складною тканиною подій, в якому зв'язки різного типу змінюють один одного або перекриваються, або об'єднуються, тим самим визначаючи текстуру цілого".

Молекули і атоми – структури, описувані квантовою фізикою, – складаються з компонентів. Однак вони – субатомні частинки – не можуть бути зрозумілі як ізольовані сутності, але повинні бути визначені через взаємозв'язки... /Бо.../ Елементарна частинка не є незалежно існуючою, досяжною для аналізу сутністю. Фактично це сукупність взаємозв'язків, яка тягнеться назовні, до інших речей.

У формалізмі квантової теорії ці взаємовідношення прийнято виражати імовірнісними термінами, причому імовірності визначаються динамікою усієї системи. Якщо в класичній механіці властивості і поведінка частин визначали відповідні характеристики цілого, то в квантовій механіці ситуація змінилася на протилежну: якраз ціле визначає поведінку частин.

КОНЦЕПЦІЯ ВІДКРИТИХ СИСТЕМ.
САМООРГАНІЗАЦІЯ. Нова концепція природознавства, про яку згадано вище і яка склалася в середині ХХ ст., – це *концепція відкритих систем пов'язаної з нею концепції самоорганізації*. Зразу, однак, зазначимо: поняття *самоорганізації* прийнятне, але доти, доки не розуміємо під цим паралель між явищами світу неживої природи і “монтування” тих чи інших “блоків” у світі живих форм. Якщо ж маємо розглядати ці явища сумісно, то *перше слід іменувати упорядкуванням*. Бо, як виглядає, навіть найбільш відомі фахівці, свідомо чи несвідомо, приписують той же ранг складності і формуванню впорядкованих структур в неживій природі, і *наявності закодованих інформативних блоків у молекулах ДНК*. А тим часом від першого до другого – “як від Землі до неба”...

Отже, передусім, звернемо увагу: у закритій системі (інакше – у замкненій системі) ті чи інші фізичні процеси відбуваються “в адіабатичному режимі” – за відсутності надходження чи відпливу енергії із/в зовнішнього середовища. Навпаки – відкрита система “імпортує” як речовину, так і енергію зі свого оточення, як мовиться, – інтегрує їх у свою структуру і завдяки

цьому підвищує рівень свого внутрішнього порядку. У ній раптово можуть породжуватися нові структури і то за умови, що система далека від рівноваги! Виявлено, що *самоорганізацію – спонтанне зародження нових структур в далеких від стану рівноваги відкритих системах* – математично можна описати нелінійними рівняннями. І ще: виявлено, що в цілому це складне теорію дисипативних структур, її розробив Ілля Пригожин, лауреат Нобелівської премії, на початку 60-х років. Свої дослідження він розпочав з феномену теплової конвекції – *нестійкості Бенара*, що вважається класичним випадком самоорганізації. Ще одним є “*хімічний годинник*”.

Проблему (чи навіть “філософію нестабільності”, див. ж. “Вопросы философии”, № 6, 1991) Пригожин ілюструє на прикладі маятника – кульки, закріпленої на жорсткому стрижні і встановленому вертикально над точкою опори. Цим ілюструється: феномен нестабільності веде до серйозної *проблеми – передбачення* (в який бік хитнеться маятник?!). Узагальнення таке: людина в принципі нездатна передбачити, що буде в майбутньому, а ще загальніше: “*Наш світ не піддається опису однією істиною*”.

Ось головні думки його статті. Сьогодні можна вважати встановленим що збільшення ентропії аж ніяк не зводиться до збільшення безпорядку, бо порядок і безпорядок виникають та існують одночасно: їх творять дисипативні процеси за наявності потоків тепла. Таким чином, порядок і безпорядок тісно пов’язані – один включає в себе інший. Цю констатацію можна розцінювати як головну зміну, що відбулася в нашому сприйнятті навколишнього світу. *Наше сприйняття природи стає дуалістичним*. Стрижневий момент тут – уявлення про нерівноважність, яка веде не лише до порядку і безпорядку, а й до виникнення унікальних подій. Бо в цьому випадку істотно розширюється спектр можливих способів існування об’єктів. Адже в ситуації, далекій від рівноваги, диференціальні рівняння, що моделюють той чи інший природний процес, стають нелінійними і вони мають більше, ніж один тип розв’язків.

Визнання нестабільності світу – це не капітуляція, це визнання потреби врахування його специфіки, визнання того, що цей світ нестабільних феноменів неможливо повністю контролювати. Що стосується стану багатьох систем, то **достовірні передбачення можна робити лише на коротких часових інтервалах** (їх ще звать **темпоральним горизонтом або експонентою Ляпунова**). Далі “траєкторія висковзує від нас”, ми позбавляємося інформації про систему.

Отже, **оскільки світ нестабільний, то маємо відмовитися навіть від мрії про вичерпне знання**. Навіть якщо ми можемо знати початкові умови, то майбутнє залишається принципово непередбачуваним. Тут також – кінець претензіям на абсолютний контроль над якою-небудь сферою реальності, кінець мріям про абсолютно контрольоване суспільство. Реальність взагалі не контрольована в смислі, який був проголошений попередньою парадигмою.

ТРИ ПРИКЛАДИ САМООРГАНІЗАЦІЇ. На початку ХХ ст. французький фізик **Анрі Бенар** виявив, що підігрів тонкого шару рідини може привести до формування теплової конвекції, явище якої тепер відоме як **нестійкість Бенара** і є класичним випадком самоорганізації. На сковорідку діаметром 20 см, яка підігривається знизу гарячою водою, наливають шар олії (товщина шару 0,5 см) з домішкою алюмінієвих опилок. Якщо в цю систему знизу надходить тепло, то при досягненні певної різниці температури між нижньою і верхньою поверхнею, тепловий потік у спокійному середовищі змінюється на теплову конвекцію. В цей момент спонтанно виникає дивовижно упорядкований **паттерн шестикутних комірок** (“медових сот”), в яких гаряча рідина (олія) підіймається вгору у центрі комірок, тоді як холодніша опускається вниз уздовж стінок комірки.

Як свідчить **Ф.Капра**, бенарівські комірки зустрічаються в природі в найрізноманітніших умовах. Зокрема, потік теплого повітря, що йде від поверхні Землі, може утворювати завихрення у формі шестикутників, які залишають свої відбитки на піщаних барханах в пустелі і в сніжних полях Арктики.

Другий вражаючий приклад самоорганізації – “хімічний годинник” (**реакція Білоусова-Жаботинського**): ритмічні окислювально-відновні реакції церію, що супроводжуються зміною кольору, як також появою хвиль хімічної активності у формі візерунків високого упорядкування. Йдеться про реакції $\text{Ce}^{3+} \leftrightarrow \text{Ce}^{4+}$ у розчині сірчаної кислоти, малоновної кислоти $\text{C}_2\text{H}_2/\text{COOH}/2$, сульфату церію Ce_2O_4 і броміду калію KBgO_3 . При додаванні у розчин індикатора окислювально-відновних реакцій (ферроїну) відбувається реакція, що супроводжується зміною кольору. Орієнтовно за кожні чотири хвилини він змінюється від червоного (надвишок Ce^{3+}) до синього (надвишок Ce^{4+}). З часом (через близько 30 хв.) утворюються стійкі червоні і сині шари, згодом настає однорідний, зрівноважений стан (див. кн. **І.К.Розгачової**. Самоорганізуючі системи у Всесвіті. – М., Знання, 1989). Але ще в 1834 р. шотландський інженер **Дж. Рассел** у заповненому водою каналі вперше спостерігав цікавий приклад упорядкованої форми руху відкритої системи – **солітон**. Це – група хвиль різних довжин, дисперсійне розпливання яких зкомпінсоване їхнім взаємним притяганням. Швидкість поширення солітона v наближено можна оцінити за формулою $v = \sqrt{g(H + h)}$, де g – прискорення сили тяжіння, H – глибина каналу, h – висота хвилі “над поверхнею” рідини.

ПОНЯТТЯ ПРО СИНЕРГЕТИКУ. “У 60-ті роки **І.Пригожин** розробив нову нелінійну термодинаміку для опису феномена самоорганізації в далеких від рівноваги відкритих системах. Він пояснював: “Класична термодинаміка приводить до поняття **системи у стані рівноваги**, як ось кристал. Комірки Бенара – це також структури, але зовсім інакшої природи. Ось чому ми ввели поняття **дисипативних структур** – в таких ситуаціях воно підкреслює тісний зв’язок, парадоксальний на перший погляд, між структурою і порядком, з одного боку, і дисипацією (розсіянням)... з іншого”. У класичній термодинаміці розсіювання енергії при передачі тепла, при терті і т.п. завжди пов’язувалося із втратами. Пригожинська концепція дисипативної структури внесла радикальні зміни у цей підхід, показавши, що у відкритих системах розсіювання енергії стає джерелом порядку...”

За теорією **Пригожина**, дисипативні структури не лише підтримують себе в далекому від рівноваги стійкому стані, але можуть навіть розвиватися. Коли потік енергії і матерії, що їх пронизує, зростає, вони можуть пройти через нові стани нестійкості і трансформуватися в нові структури вищої складності.

Тоді ж, на початку 60-х років аналогічне відкриття зробив у Німеччині **Герман Хакен**, вивчаючи фізику нещодавно винайдених лазерів. У лазері при певних спеціальних умовах відбувається перехід від звичайного світла лампи, яке складається з некогерентної (невпорядкованої) суміші світлових хвиль різних частот і фаз, до когерентного лазерного світла, яке складається з однорідного неперервного монохроматичного випромінювання.

Висока когерентність лазерного світла досягається координацією емісії світла від окремих атомів у лазері. Хакен збагнув, що ця зкоординована емісія, яка веде до спонтанного виникнення когерентності, або порядку, є процесом саморегуляції і для того, щоб його правильно описати, потрібна нелінійна теорія.

Інтенсивно вивчаючи цей феномен, **Хакен** виявив декілька паралелей з іншими далекими від рівноваги системами. Це навело його на думку, що перехід від нормального світла до лазерного є прикладом процесу самоорганізації, типового для далеких від рівноваги систем.

Тоді **Хакен** увів термін *синергетика*, щоб виразити потребу в новій царині систематичного вивчення процесів, в яких сумісні дії окремих частин, як ось атоми лазера, обумовлюють узгоджену поведінку цілого... Так він дійшов до точного опису феномена самоорганізації, подібного до того, який **Пригожин** назвав би дисипативною структурою” /КФ, с. 109/.

Грецьке слово синергетика – це “спільна дія”. І тут згадують сказане **А.Пуанкаре**: “Важко повірити, яку велику економію думки може здійснити одне добре підібране слово. Часто досить винайти нове слово, і це слово стає творцем”. Сьогодні синергетику вважають одним із найперспективніших і широких шляхів людського пізнання.

ЕЛЕМЕНТ КІБЕРНЕТИКИ. У 1948 р. американський математик **Норберт Вінер** (1894 – 1964) у книжці “Кібернетика”, даючи певне вирішення проблем зв’язку та управління, і визначив *кібернетику* (від грецьк. “кормчий”, “мистецтво керування” як науку про управління і зв’язки у тваринах і машинах”. Ентузіасти цього напрямку досліджень якраз і зформували поняття саморегуляції, згодом – *самоорганізації*, а також, що істотне, – *зворотного зв’язку*.

*“Петля зворотного зв’язку – це кільцева система причинно пов’язаних елементів, в якій початкова дія поширюється уздовж вузлів петлі так, що кожен елемент виявляє вплив на наступний, доки останній із них не “принесе повідомлення” першому елементу петлі (за схемою $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$). Наслідком такої організації є те, що перша ланка (“вхід”) зазнає впливу останньої (“виходу”); це якраз означає саморегуляцію усієї системи, оскільки початковий вплив модифікується кожен раз, коли він обходить всю петлю. Зворотний зв’язок, за **Вінером**, являє собою “управління машиною на основі її реальної, а не очікуваної поведінки”. У ширшому смислі, зворотний зв’язок почав означати передачу інформації про результат будь-якого процесу чи будь-якої діяльності до їх першоджерела.*

Кібернетики розрізняють *два типи зворотного зв’язку – зрівноважувачий* (або від’ємний) і *посилюючий* (додатній) зворотний зв’язок. Прикладами цього другого є добре відомі режими, або хибні кола, коли машина йде “врознос”, бо початкова дія безперервно посилюється з кожним новим проходженням по петлі. Інакше: у випадку “+” причинний вплив у напрямі від А до Б такий, що зміна в А призводить до зміни того ж напрямку в Б. Причинна ланка визначається як “–”, якщо зміна Б відбувається в протилежному напрямі, тобто Б зменшується, якщо А збільшується, і навпаки. Тобто знаки “+” і “–” означають відносний напрям зміни пов’язаних елементів: “+” означає однаковий напрям, а “–” – протилежний.

Причина, з якої знаки “+” і “–” виявилися зручними, полягає в тому, що вони дають дуже просте правило визначення загального характеру петлі зворотного зв’язку. Вона буде

самобалансованою (від'ємною), якщо містить непарну кількість від'ємних зв'язків.

За всю історію соціальних наук було винайдено багато метафор для опису саморегулюючих процесів у соціальному житті. З найбільш відомих – “невидима рука”, що регулює ринок в економічній теорії Адама Сміта... Всі такі явища... обов'язково включають в себе колові паттерни причинності, які можна представити як петлі зворотного зв'язку...

“... паттерни самопосилюючого зворотного зв'язку, попростому названі “хибним колом”, відомі здавна. Ця виразна метафора описує несприятливу ситуацію самопогіршення у коловій послідовності подій... і наслідки – драматичні.

Існують й інші відомі метафори для опису ефекту самопосилюючого зворотного зв'язку. Як ось – “накликана біда”, коли початкові безпричинні страхи штовхають людину до дій, внаслідок яких ці страхи стають обґрунтованими...”.

КАТАСТРОФИ – БІФУРКАЦІЇ. З 60-х років ХХ ст. французький математик **Рене Том** (і ряд інших) започаткував розробку *теорії катастроф – математичний опис процесів, в яких неперервні зміни, на певному етапі розвитку системи, обумовлюють розрив, стрибкоподібну зміну якості.* Ідеться якраз про нагромадження змін кількісних, що завершуються якісним стрибком.

Конкретно, у фізиці відомі 1) *фазові переходи I типу* – процеси зі стрибкоподібною зміною внутрішньої енергії і густини і 2) *фазові переходи II типу*, в яких внутрішня енергія і густина речовини залишаються незмінними, але змінюються теплоємність, коефіцієнт теплового розширення тощо. Великомасштабні зміни стану системи внаслідок катастрофи (колапсу) є неминучою стадією розвитку зорі після вичерпання в її надрах ядерних джерел енергії (§ 8). Загалом же є й таке *визначення фазового переходу: це стрибкоподібна зміна фізичних властивостей при неперервній зміні зовнішніх параметрів.*

З середини ХХ ст. “повноправним” стало поняття *біфуркації* (від лат. bifurcus – *роздвоєний*, серед варіантів пояснення – поділ течії ріки на два відгалуження, що впадають у різні басейни). Це – своєрідна потреба вибору, її необхідність,

після якої стан системи необоротно змінюється. Можна й говорити про *точку біфуркації*, як у випадку з буридановим ослон – “дійшов до певного пункту шляху, справа і зліва – по в’язці сіна і тут треба зробити вибір, в який бік звернути”.

Ситуація біфуркації математично виникає як результат аналізу розв’язків нелінійних диференціальних рівнянь, це – факт розгадування цих розв’язків. У фізичному розумінні – це *точка розгалуження шляхів еволюції системи*. Це – поява, при деякому критичному значенні певного параметра, нового розв’язку рівнянь. Доцільно підкреслити: це нове розуміння складності навколишнього світу, адже, як висловився англійський математик **Ян Стюарт**, “*Природа безжально нелінійна*”.

Як зауважив **Ф.Капра**, “до кінця XIX ст. вчені розробили два різні математичні інструменти для моделювання природних явищ – точний (детерміністські рівняння руху для простих систем) і рівняння термодинаміки, засновані на статистичному аналізі усереднених величин для складних систем. І хоча ці два підходи цілком різні, є в них і спільна риса: вони використовують лінійні рівняння...” Насправді нелінійні рівняння траплялися ледве не на кожному кроці, бо ж багато фізичних явищ, як ось турбулентні потоки води чи повітря, є хаотичними. Однак для їх опису намагалися використати лінійне наближення. Тобто говорити про *малі* коливання, про *невеликі* зміни температури і т.п. Як зауважив **Я.Стюарт**, ця звичка вкорінилася настільки, що рівняння лінеаризували вже в процесі їх виведення, а в підручники навіть не вставляли нелінійні версії.

“Дослідження нелінійних систем за останні десятиріччя виявили значний вплив на науку в цілому, бо змусили нас заново оцінити деякі фундаментальні уявлення про взаємовідносини між математичною моделлю і тими феноменами, які вона описує... Перебуваючи в світі лінійних рівнянь ми думали, що системи, які описуються простими рівняннями, відрізняються простою поведінкою, тоді як описувані складними рівняннями ведуть себе значно складніше. У нелінійному світі – який, як ми починаємо виявляти, становить ліву частку реального світу – прості детерміністські рівняння можуть приховувати в собі несподіване багатство і розмаїття поведінки. З іншого боку, складна і, здавалося б, хаотична поведінка може породити упорядковані

структури, витончені та вишукані паттерни. В теорії хаосу сам термін хаос набув нового, технічного значення... Ще одна важлива властивість нелінійних рівнянь – точне передбачення часто буває нездійсненне.

Як з'ясовано, для хаотичних систем типова надзвичайна чутливість до початкових умов. Найменші зміни їх з часом призводять до великомасштабних наслідків. В теорії хаосу це зветься *ефектом метелика*. Є жартівливе твердження: метелик, зколикхнувши своїми крилами повітря в Пекіні сьогодні, може через місяць виявитися причиною бурі в Нью-Йорку. Цей ефект метелика відкрив на початку 60-х років ХХ ст. метеоролог **Едвард Лоренц**, який розробляв найпростішу модель зміни погоди, що складалася з трьох взаємозв'язаних нелінійних рівнянь. Він виявив, що розв'язки його рівнянь надзвичайно чутливі до початкових умов. Виходячи практично з одної точки, дві траєкторії будуть розвиватися цілком по-різному, виключаючи можливість яких би не було завчасних передбачень” /КФ, с. 152/.

Лоренц виснував: “... я зрозумів, що *будь-яка фізична система, яка не виявляє періодичності в поведінці, непередбачувана*”. Публікація Лоренца (1963 р.), як визнано, означала зародження теорії хаосу, а графічне зображення його розв'язку – **атрактор Лоренца** – є найвідомішим.

АТРАКТОРИ. Атракторами (від англ. “притягувати”) названо точки (тоді це *точковий атрактор*) або замкнуті лінії (*періодичний атрактор*), які притягують до себе всі можливі траєкторії поведінки системи.

Для вивчення цього феномену змінні системи *відображають* в абстрактному математичному просторі – у *фазовому просторі*. Кожній змінній у системі ставиться у відповідність одна із координат абстрактного простору. Найпростіший приклад системи – *математичний маятник*. Дві змінні, що дозволяють описати його коливальний рух, – кут відхилення від положення рівноваги і швидкість руху (за домовленням, один із напрямів руху вважається додатнім, зустрічний – від'ємним для обох характеристик). Відклавши кут по горизонтальній осі, швидкість – по вертикальній, маємо,

зокрема, в момент переходу маятника через положення рівноваги кут рівний 0° , швидкість – найбільша. Проставляючи всі інші точки, отримуємо замкнуту криву, подібну на еліпс. Це і є траєкторія маятника у фазовому просторі. Картина істотно зміниться, якщо врахувати тертя, отже – гальмування коливного руху (рис. 4.1.).

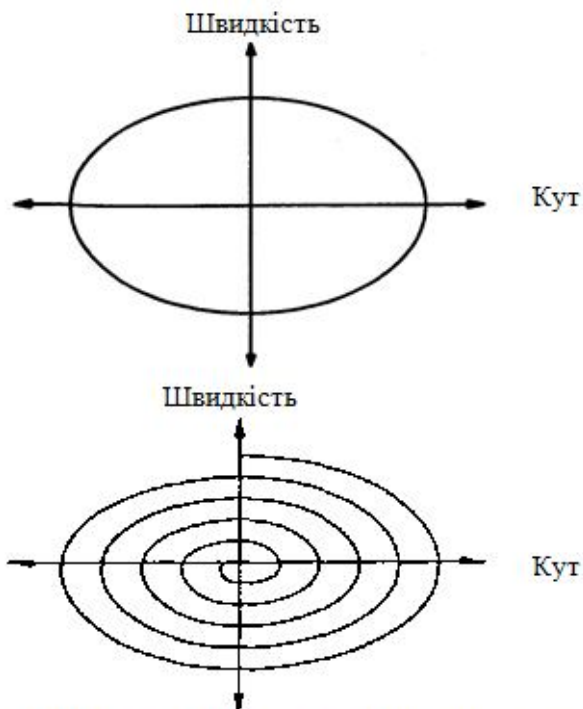


Рис. 4.1. Траєкторія маятника у фазовому просторі без тертя (зверху) з тертям (внизу)

Тепер траєкторія закручується до центра. Можна сказати, що фіксована точка в центрі координат двовимірного фазового простору притягує цю траєкторію.

У першому випадку кажуть про **періодичний аттрактор**, у другому – **точковий аттрактор**. Цей другий відповідає системам, які досягають стійкої рівноваги.

Далі – рядки книги **Ф.Капра** (с. 150): “Упродовж наступних двадцяти років метод фазового простору використовувався для

дослідження багатьох складних систем. Кожен раз вчені і математики складали нелінійні рівняння, розв'язували їх числовими методами, а комп'ютери накресливали розв'язки у формі траєкторій у фазовому просторі. На своє велике здивування, дослідники виявили, що число різних атракторів дуже обмежене, їхні форми можна класифікувати топологічно, а загальні динамічні властивості системи – вивести з форми її атрактора.

Існують три основні типи атракторів – *точкові, періодичні* і так звані *дивні атрактори, що відповідають хаотичним системам* (поняття *дивний атрактор* увів у 1971 р. Девід Рюель – І.К.). Типовий приклад системи з дивним атрактором – “хаотичний маятник”, вперше досліджений японським математиком **Йошисуке Уеда** наприкінці 1970-х років. Це нелінійна електронна схема із зовнішнім живленням, відносно проста, але з винятково складною поведінкою. Кожне коливання цього хаотичного генератора коливань унікальне. Система ніколи не повторює себе, і кожен цикл відкриває нову область фазового простору. Однак, незважаючи на ілюзорну нестійкість руху, точки у фазовому просторі розташовані зовсім не безладно. В сукупності вони формують складний високоорганізований паттерн – *дивний атрактор*, який тепер має назву *атрактора Уеда* (рис. 4.2.).



Рис. 4.2. Атрактор Уеда

Атрактор Уеда – це траєкторія у двовимірному фазовому просторі, яка утворює паттерни, що майже повторюють один одного. Це – типова особливість хаотичних систем. Зображення на рис. 4.2. містить понад 1 000 000 точок, його можна уявити у вигляді зрізу куска тіста, який багаторазово розтягували і згортали: в основі атрактора Уеда лежить *математика перетворення пекаря*.

Одна дивовижна властивість дивних атракторів у тому, що вони, як правило, обмежені малим числом вимірів – навіть у багатовимірному фазовому просторі. Наприклад, система може мати 50 змінних, але її рух при цьому описується тривимірним дивним атрактором... Це, річ ясна, ознака високого рівня упорядкованості.

За допомогою дивних атракторів можна встановити відмінність між *звичайним безпорядком*, або *шумом*, і *хаосом*. Хаотична поведінка детермінована і утворює паттерни, а дивні атрактори дозволяють перетворювати на перший погляд випадкові дані у чіткі візуальні форми...

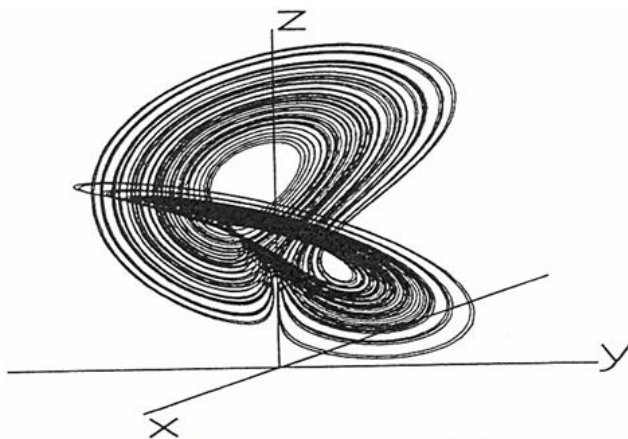


Рис. 4.3. Атрактор Лоренца

Атрактор Лоренца став найбільше відомим і широко досліджуваним із дивних атракторів. Тоді як атрактор Уеда двовимірний, атрактор Лоренца розміщений у трьох вимірах (рис. 4.3.). Накреслюючи його, точка у фазовому просторі

рухається наче випадковим чином і описує декілька коливань зростаючої амплітуди навколо одного центра, далі йдуть коливання навколо другого центра, потім вона раптом повертається і осцилює навколо першого центра і т.д.

Неможливість передбачити, яку точку у фазовому просторі перетне траєкторія атрактора Лоренца у певний момент часу, – це загальна особливість для всіх хаотичних систем. Однак це зовсім не означає, що теорія хаосу не дає підстав для жодних передбачень. Можливі надзвичайно точні прогнози відносно якісних особливостей поведінки системи, а не точних значень її змінних у певний момент часу. Нова математика, таким чином, представляє зсув від кількості до якості, що типове для системного мислення взагалі. Тоді як традиційна математика має справу з кількостями і формулами, теорія динамічних систем пов'язана з якістю і паттерном.

... У нелінійної системи може бути декілька атракторів різних типів, як хаотичних (“дивних”), так і нехаотичних. Всі траєкторії, що починаються у певній зоні фазового простору, раніше чи пізніше ведуть до одного і того ж атрактора. ***Це – зона, названа сферою притягання певного атрактора.*** Таким чином, фазовий простір нелінійної системи розбивається на декілька сфер притягання, кожній з яких відповідає її окремий атрактор. ***Динамічна картина усієї системи зветься фазовим портретом.***

У багатьох нелінійних системах, однак, малі зміни в окремих параметрах можуть обумовити серйозні зміни основних характеристик фазового портрета. ***Атрактори можуть зникнути або перетворитися з одного в інший, можуть також заявитися нові аттрактори.*** Кажуть, що такі системи структурно нестійкі, і ***критичні точки нестійкості – це точки біфуркації*** (“розгалуження”): у цих місцях в еволюції системи раптово з'являється “вилка”, і система відхиляється в тому чи іншому новому напрямі. В математичному розумінні, точки біфуркації відмічають раптові зміни фазового портрета системи. У фізичному смислі, вони відповідають точкам нестійкості, в яких система різко змінюється, і несподівано появляються нові

форми упорядкованості. Як показав **Пригожин**, такі нестійкості трапляються лише у відкритих системах, далеких від рівноваги.

Оскільки типів атракторів досить мало, то не багато існує і різних типів біфуркації. Отже їх можна класифікувати топологічно, як і атрактори... **Рене Том**, використавши термін катастрофи замість біфуркації, *визначив сім елементарних катастроф*. Тепер математикам відомо приблизно утричі більше типів біфуркацій.

ФРАКТАЛИ І ФРАКТАЛЬНА ГЕОМЕТРИЯ. Тоді ж, років 35 тому, незалежно від теорії хаосу було винайдено *фрактальну геометрію*, яка дала могутню математичну мову, для опису тонкої структури хаотичних атракторів. Автором цієї нової мови став французький математик **Бенуа Мандельбро**... Він увів термін *фрактал*... Мандельбро пояснює; деякі природні характеристики геометричні у традиційному сенсі. Стовбур дерева загалом подібний до циліндра, повний місяць більш-менш нагадує диск... Однак це винятки. Бо: Найчастіше природа найвищою мірою складна. Як описати хмару? Хмара – не сфера, вона подібна на м'яч, але дуже невпорядковано. А гора? Гора не конус... Якщо ви хочете розмовляти про гори, ріки, блискавки, то геометрична шкільна мова виявляється зовсім неадекватною.

І Мандельбро створив *фрактальну геометрію*..., щоб описувати й аналізувати складність нерегулярних форм навколишнього світу.

Найбільш вражаючою властивістю цих “фрактальних” форм є те, що їхні типові паттерни багаторазово повторюються на нисхідних рівнях так, що їх частини на будь-якому рівні за формою повторюють ціле. Таку самоподібність виявляємо, відламуючи кусочок цвітної капусти... Інше: краї хмар знову й знову повторюють один і той же паттерн, узбережжя моря можна ділити на все дрібніші частини, і в кожній з них будуть виявлятися такі ж обриси берегової лінії...

... не знадобилося багато часу, щоб виявити, що *дивні атрактори можуть стати найкращими, прикладами фракталів*. Якщо частини їх структури збільшити, то

виявляється багаточасова субструктура, в якій знову й знову повторюються одні і ті ж паттерни. ***Тож дивні атрактори почали визначати як траєкторії у фазовому просторі, в яких виявляються риси фрактальної геометрії.***

Ще один важливий зв'язок між теорією хаосу і фрактальною геометрією...: неможливо обчислити довжину або площу фрактальної форми, але – якісним способом можна визначити ступінь її розрізання. Мандельбро задав питання: яка протяжність узбережжя Британії? Він довів, що оскільки вимірювану довжину можна розтягати до безконечності, переходячи до все дрібнішого масштабу, на це питання немає однозначної відповіді”.

Цю проблему аналізував також **Енс Федер** у книжці “Фрактали” (М., 1991). Берегова лінія описується фрактальною розмірністю D , так що її довжина $L(\delta) = \alpha \delta^{1-D}$. Тут δ (км) – крок, α – певне значення довжини берегової лінії при одному із значень кроку δ_0 . Іншими словами, якщо δ – довжина кроку, $N(\delta)$ – їх число, то $L = N(\delta) \delta$. За даними Мандельбро для берега Англії $D=1,58$; для берега Норвегії $D=1,70$.

Оскільки параметр D має певні риси розмірності, то Мандельбро назвав його ***фрактальною розмірністю***. Ця концепція стала потужним інструментом аналізу складності фрактальних форм, скажімо – чим менше згладжені форми узбережжя чи гір, тим вищі їх фрактальні розмірності. Щоб змодельювати фрактальні форми, які зустрічаються в природі, можна зконструювати геометричні фігури, що мають точну самоподібність. Основним методом для побудови таких математичних фракталів служить ітерація, тобто багаторазове повторення певної геометричної операції.

Однією з найпростіших фрактальних форм тут є ***крива Коха*** або “***крива сніжинки***” (рис. 4.4. і 4.5.). Геометрична операція полягає в тому, щоб розділити відрізок лінії на три рівні частини і далі замінити центральну секцію двома сторонами рівностороннього трикутника, якщо це далі робити безконечно, то і крива Коха стає безконечно довгою.



Рис. 4.4. Сніжинка Коха.

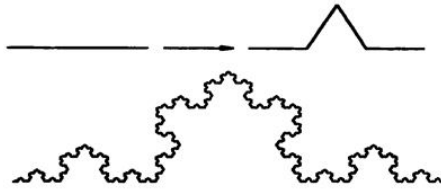


Рис. 4.5. Геометрична операція для побудови кривої Коха і моделювання берегової лінії за допомогою кривої Коха (внизу)

Багато фрактальних форм можуть бути відтворені математично за допомогою ітеративних процедур на комплексній площині. Є особливий клас математичних фракталів, відомих як *множини Жулія*, відкриті французьким математиком **Гастоном Жулія** на початку ХХ ст. В її основу покладено просте відображення $Z \rightarrow Z^2 + C$, де Z – комплексна змінна, а C – комплексна стала. Вибравши довільне число Z , підносять його до квадрату, додають сталу C і т.д. *Множина Жулія* – це набір усіх тих значень Z (точок на комплексній площині), які при ітерації обмежені певною границею.

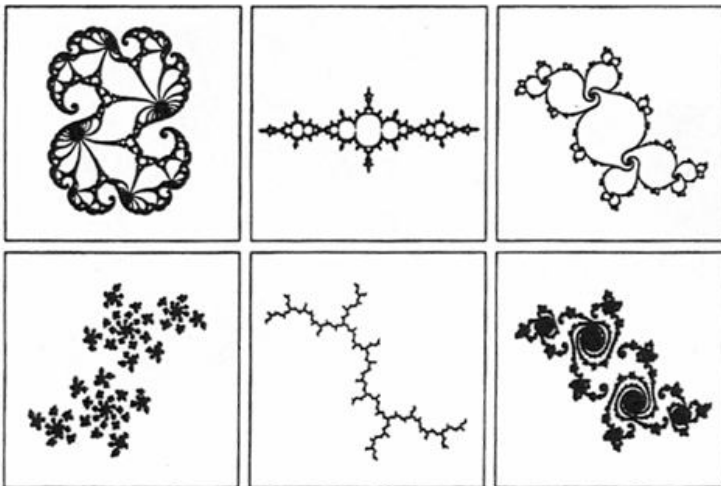


Рис. 4.6. Розмаїття множин Жулія.

Для кожної сталої C отримують різні *множини Жуліа*, тому кількість їх безмежна (рис. 4.6.). Своєрідним каталогом цих множин є *множина Мандельбро* (рис. 4.7.). Це – сукупність на комплексній площині усіх точок з константою C , для яких відповідні множини Жуліа є єдиними зв'язними утворами... І оскільки існує безконечна кількість множин Жуліа, множина Мандельбро унікальна. Ця дивна фігура (перша на рис. 4.7.) є найскладнішим математичним об'єктом з усіх коли-небудь винайдених... Заглиблення в неї – фантастична мандрівка, а можливості сьгоднішніх комп'ютерів забезпечують 100 000 000-кратне збільшення! Картина нагадує химерно зрізане узбережжя... І на кожному кроці – найдрібніша копія усієї множини Мандельбро, глибоко прихованої в структурі її меж.

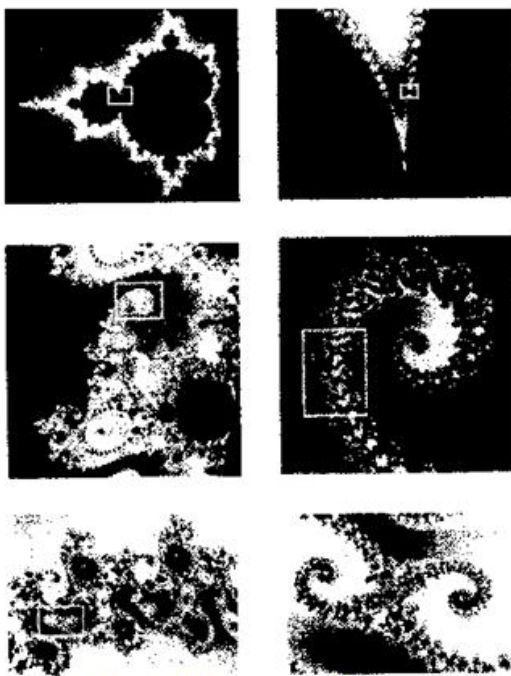


Рис. 4-7. Множина Мандельбро

Множину Мандельбро можна розглядати як склад, резервуар паттернів з їхніми безмежними деталями і варіаціями... Це *надфрактал незбагненої складності*, і водночас це структура, хоча й перевищує своєю складністю усі межі людської уяви,

будується на основі декількох дуже простих правил. Інакше кажучи, фрактальна геометрія, як і теорія хаосу, змусила вчених і математиків переглянути саме поняття складності. У класичній математиці прості формули відповідають простим формам, складні – складним. У новій математиці... прості рівняння можуть генерувати дивовижно складні дивні атрактори, а прості правила ітерації породжують структури значно складніші, ніж це можемо уявити”.

II. СВІТ МАКРО- І МІКРОКОСМОСУ (ФІЗИКА)

5. Закони і парадокси класичної фізики

ОБСЯГ КЛАСИЧНОЇ ФІЗИКИ. “Те, що людство дізналося про закони природи до ХХ ст., має загальну назву класичної фізики. Створена працями багатьох учених упродовж близько трьохсот років від Галілея до Айнштайна, вона дає прекрасний кількісний опис природи на *макрорівні* (за відсутності теплових ефектів), коли мікроструктуру матерії можна не враховувати.

Головний підсумок цього опису полягає в тому, що матерія на макрорівні має двояку природу. Вона постає перед нами у двох якісно різних формах: *речовини*, яка складається з дискретних частинок, що описуються рівняннями Ньютона, і неперервного *електромагнітного випромінювання*, описуваного рівняннями Максвелла. Відкриття таких різних, незведених одна до одної макроскопічних форм матерії було видатним досягненням фізики. Однак супутнім при цьому було почуття невдоволення відсутністю фундаментальної єдності в описі природи.

Дальше дослідження будови матерії привело на стику ХІХ і ХХ стт. до відкриття якісно конкретних елементів матерії на мікрорівні – атомів, електронів і фотонів. У підсумку на перший план вийшов принцип *атомізму* (або “зернистості”), *дискретності* усіх форм матерії та її фізичних характеристик, що був абсолютно відсутнім у класичній фізиці, даний опис природи, узгоджений з універсальним принципом атомізму на мікрорівні, який водночас “давав” якісно різні макроскопічні форми матерії, було досягнуто в рамках *квантової фізики* – одного з найбільших досягнень людства у ХХ ст.”.

На грані століть ХІХ-ХХ **Уільям Томсон-лорд Кельвін** (1824 – 1907) в одній із своїх лекцій благодушно порівняв фізику з кораблем, який благополучно минув підводні рифи і мілини та доплив до спокійної гавані. Тоді ж А.Пуанкаре перелічив основу основ фізики – її *принципи*. Це –

- 1) принцип збереження енергії;
- 2) принцип Карно, що відіграє роль другого начала термодинаміки;
- 3) принцип рівності дії і протидії;

- 4) принцип відносності;
- 5) принцип збереження маси і
- 6) принцип найменшої дії.

Він зауважив, що в цих принципах зконцентрована вся нагромаджена упродовж століть мудрість фізики як науки /ПА, с. 543/. Як видно, йдеться передусім про закони збереження маси, імпульса та енергії (відповідно 5, 3 та 1). І тут слід згадати роботу Галілея “Діалог про дві системи світу”, в якій він устами Сальвіаті стверджує: “... коли я бачу, що тіло тепер має один вигляд і трохи пізніше набирає іншого, зовсім відмінного, я вважаю не неможливим, що виникла зміна в розташуванні частин без зруйнування чогось і без знаходження нового. Такі перетворення ми бачимо кожного дня”. Це і є **концепції збереження речовини і дискретності речовини**: всі перетворення є наслідком з’єднання і роз’єднання **незруйновних атомів**, як це уявляли давньогрецькі атомістики, передусім Демокріт.

Розвиваючи ідеї Галілея, **Рене Декарт** (1596 – 1650) в “Началах філософії” (1644 р.) сформулював декілька законів, або правил, серед яких: “**Перше правило**: кожна окрема частина матерії завжди продовжує лишатися в одному і тому ж стані доти, доки зустріч з іншими не викличе зміни цього стану”. А це узагальнене формулювання **закону інерції**. Інакше: “.. якщо вона почала одного разу рухатися, то продовжує цей рух постійно з рівною силою доти, доки інші її не зупинять або не зповільнять її рух”. Далі. “**Друге правило**...: коли одне тіло стикається з іншим, воно може надати йому лише стільки руху, скільки само одночасно втрачає...” Це – первісне формулювання **закону збереження енергії**. З’ясовуючи **міру руху**, Декарт думав, що вона пропорціональна величині (масі) частинки та її швидкості. Насправді ж це – **імпульс як міра кількості руху**. Дещо пізніше **В.Лейбніц** за міру руху прийняв величину, пропорційну добуткові маси на квадрат швидкості (тобто mv^2).

Але ще раз оглянемося назад. **Галілей** заклав **основи динаміки**. Тож доречно підкреслити: починати йому довелося “від початку”. Як пише **П.С.Кудрявцев** (“Історія фізики”, т.1,

1951, с. 137). “Треба було встановити основні поняття **кінематики**: переміщення, швидкість, прискорення. Треба було дати наукову класифікацію рухів. І, нарешті, треба було вивчити причини, що зумовлюють той чи інший вид руху, тобто встановити закони динаміки, отже прийти до таких фундаментальних понять динаміки як **маса** і **сила**. Було очевидно, що категорія сили є допоміжним математичним поняттям, отже ці поняття є нерівноправні... Фізика цієї епохи була механікою, інших форм руху не знали. Треба було поставити питання про причину цих рухів – про силу”...

Близько 1440 р. **Микола Кузанський**, проголосивши відсутність нерухомого центра світу, тим самим утверджував принцип відносності руху. **Галілей** підтвердив: кожна система відліку, що рухається відносно вибраної рівномірно і прямолінійно, рівноправна з нею щодо опису механічних процесів. Згодом математичну схему для опису положень точок (простіших об'єктів) – **систему координат** – дав **Декарт**.

Галілей чітко визначив **рівномірний рух**, коли “відстані, які проходить рухоме тіло в будь-які рівні проміжки часу, рівні між собою”. Він з'ясував проблему **змінної швидкості**, увівши **швидкість зміни швидкості – прискорення** і, зокрема, розглянув **рівномірно-прискорений рух**. Прискорення ж падання **Галілей** пояснив дією сили тяжіння. При цьому ствердив: **дія сили не залежить від стану руху тіла** і друге – **прискорення тяжіння не залежить від ваги (маси) тіла**.

Варте уваги, що раніше **М.Коперник** зазначив: “Що стосується мене, то я вважаю, що тяжіння є не що інше, як деяке природне стремління, надане частинам божественним Провидінням Творця Всесвіту, щоб вони прагнули до цілісності та єдності...”

ЧОТИРИ ВАЖЛИВІ КОНЦЕПЦІЇ. Як вже згадано, **класична фізика** почала своє становлення працями **Галілея**, а її важливий підрозділ – **теоретична фізика** – від “Математичних основ природознавства” (1687 р.) **Ньютона**. І хоча від часів **Галілея** минуло вже 400 років, декілька зформульованих тоді

узагальнень є сьогодні тим, що якраз становить концепції сучасного природознавства. Ось передусім:

Концепція руху як конкретного функціонального зв'язку між швидкістю і часом. Рух є рівномірним, якщо тіло (матеріальна точка), зазнавши певної дії “в нульовий момент часу”, в подальшому рухається за інерцією, він є змінним, прискореним, якщо дія якоїсь сили продовжується.

Концепція відносності (принцип відносності), яку сьогодні формулюємо так: процеси в тілах, які рухаються, відбуваються за тими ж законами, що й у тілах, які перебувають у спокої.

Галілей експериментально (“піднявся на падаючу вежу в Пізі, скинув звідти одночасно однофунтове і стофунтове ядра і довів, що тривалість їх падання була однаковою, тоді як за **Аристотелем** це друге мало б упасти значно швидше”) встановив: усі тіла, незалежно від їхньої маси, падають (“рухаючись до центра Землі”) з однаковим прискоренням. Завдяки подальшому здійсненому **Ньютоном** аналізу цього факту викристалізувалася **концепція рівності інертної і гравітаційної (важкої) маси**. Для **Айнштайна** вона стала основою для створення загальної теорії відносності.

Своєрідним був шлях до усвідомлення концепції гравітації – взаємного притягання усіх “небесних і земних тіл”. Зокрема, слід згадати працю англійського фізика **Роберта Гука** (1635 – 1703). “Спроба доведення руху Землі із спостережень” (1674 р.), де він пише, що “всі небесні тіла мають притягання, або силу тяжіння, до свого центра...” Однак лише **Ньютон**, виходячи із **законів Кеплера** за допомогою геометричних прийомів дійшов висновку, що силою, яка утримує планети на їхніх орбітах, є **сила взаємного тяжіння**, яка змінюється обернено пропорціонально квадратові відстані; це встановлено, опубліковано у 1687 р.

А йдеться про одну **із чотирьох взаємодій!** Давши їй математичне обґрунтування, **Ньютон** зауважив, що “не вказував причини самого тяжіння. Причину... я досі не міг вивести з явищ, гіпотез же я не вигадую”.

ПРО ЕНЕРГІЮ, ЇЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ І ЗБЕРЕЖЕННЯ.

Галілей встановив, що висота падіння тіла h пропорціональна квадратові швидкості v , яку тіло набуває наприкінці падіння. З тих міркувань **Ляйбніц** (1696 р.) дійшов висновку, що мірою руху тіла має бути величина mv . Він запропонував поділити сили на два класи: “мертві” (статичні) і “живі” (кінетичні). Деформація від вантажу, при падінні якого зі стану спокою, рівна mv (за одну секунду, тобто пропорційна кількості руху). “Живі” сили вимірюються mv^2 . **Даламбер** (1717 – 1783) довів формальну еквівалентність обох мір. Бо, “що слід вважати за міру зниклого руху?” Якщо на певному відрізку шляху за певний проміжок часу t трапилося гальмування маси m , то діючу силу f можна виразити як через зміну руху на одиниці шляху, так і через зміну руху за одиницю часу. У першому випадку рух треба вимірювати величиною mv^2 , у другому – величиною mv :

$$f = \frac{mv^2}{2s} = \frac{mv}{t}.$$

Варті уваги ось ці рядки з книги **Р.Гука** “Мікрографія” (1665 р.): “Частинки всіх тіл, незалежно від їхньої твердості, здійснюють коливальні рухи, доказом чого... є той факт, що всі тіла мають певну кількість тепла... Тепло є не що інше, як швидке і сильне коливання частинок тіла”.

Й.Бернуллі у 1717 р. визначив словом “енергія” добуток сили на проекцію зміщення в напрямі сили. У 1743 р. (за **Кудрявцевим**, т. 1. 260) **Даламбер** розглянув задачу: “Якщо в системі точок діє сукупність сил F_i і зв’язки, то прискорення, яке дістає кожна точка, не збігається з тим прискоренням, яке дістала б точка під дією тих же сил, будучи вільною. Отже, частина рушійної сили F_i “втрачається” на переборення опорів зв’язку. **Даламбер** запроваджує термін “втрачені сили” для цієї сили і твердить, що рух системи точок відбувається так, що в кожному момент часу втрачені сили і сили зв’язку взаємно зрівноважуються. Це і є *принцип Даламбера*. Іншим загальним принципом був встановлений 1744 р. **Мопертюї** *принцип найменшої дії*, який був записаний **Ейлером** у вигляді:

$$\delta \int v ds = 0, \quad \delta \int v^2 dt = 0$$

Зауважимо, що 1758 р. **Ейлер** встановив поняття “*момент інерції*”.

І ще: “Вже Галілей у свій термін “момент” або “імпето” часто вкладав значення добутку сили на шлях. Ляйбніц, пропонуючи свою міру руху – “живу силу”, виходив із принципу еквівалентності рухів, що мають однакове значення ph . Згодом **Л.Карно**... пропонує оцінювати діяльність машини добутком піднятого вантажу на висоту... і отримати “діючий момент”, а **Монж** назвав роботу “динамічним ефектом”. Але вже в 1807 р. **Юнг** писав: “... робота, необхідна для відтворення руху, пропорціональна не моментові, а *енергії* виконаного роботою руху”, “Словом енергія слід позначати добуток маси або ваги тіла на квадрат числа, що виражає швидкість”. Нарешті, в 1829 р. у трактаті “Вступ у технічну механіку” **Понселе** (1788 – 1867) остаточно зберігає термін “робота” і висловлює принцип *збереження енергії в механічних процесах*: подвоєна алгебраїчна сума робіт дорівнює сумі живих сил (mv^2), робота або жива сила ніколи не утворюється з нічого і не переходить в ніщо, а тільки перетворюється.

Невдовзі **Юлій Р. Майер** (1814 – 1878), аналізуючи колір венозної крові моряків у тропіках (тут вона світліша), зробив висновок, що кількість окислюваних продуктів в організмі людини зростає зі збільшенням виконуваної нею роботи. І в 1840 р. він визнав: *теплота і механічна робота здатні взаємоперетворюватися*, тобто: “причини є (кількісно) незруйновні і (якісно) здатні до перетворень об’єкти”. “Тепло є сила, воно може бути перетворене в рух”.

Експериментально закон збереження енергії (кількісне відношення між теплою і механічним рухом) обґрунтував **Джемс Джоуль** (1818 – 1889), манчестерський пивовар. Так зародилася *термодинаміка* як вчення про тепло як рушійну силу. Як згадано в § 3, було сформульовано Перше і Друге начала термодинаміки. Поступово все чіткіше з’ясовано межі їх застосування для закритих систем.

НЕОБОРОТНІСТЬ У ТЕРМОДИНАМІЦІ ЯК КОНЦЕПЦІЯ.

Це питання найкраще з'ясував **Р.Фейнман** /Ф-Л-С, 3-4, с. 380/: “Чи всі закони фізики оборотні? Звичайно, ні! Спробуйте, наприклад, з яєчні зліпити назад яйце! Чи пустите фільм у зворотний бік – публіка в залі негайно ж почне сміятися. Необоротність – найяскравіша риса усіх подій.

Відкіля ж вона з'являється? Адже її немає в законах Ньютона. Якщо ми вважаємо, що будь-яке явище може бути в кінцевому рахунку пояснене законами фізики, і якщо також виявляється, що всі рівняння мають фантастичну властивість давати при $t > -t$ інше рішення, то адже тоді оборотне будь-яке явище. Але як же тоді виходить, що в природі, у явищах великого масштабу, усе необоротне? Виходить, є якісь невідомі нам, але важливі рівняння, можливо, навіть в електриці, а може, у нейтринній фізиці, для яких вже істотно, куди йде час.

Розглянемо тепер це питання. Один закон такого роду ми вже знаємо – він стверджує, що ентропія тільки зростає. Коли одне тіло тепле, а інше холодне, тепло переходить від теплого до холодного. Це твердження нам підійшло б. Але добре б і цей закон зрозуміти з погляду механіки. Нам вже удалося одержати за допомогою чисто механічних розумінь усі наслідки з постулату про те, що тепло не може текти в зворотний бік; це допомогло нам зрозуміти другий закон. Виходить, необоротність з оборотних рівнянь одержувати ми здатні. Але чи використовували ми при цьому тільки закони механіки? Розберемося в цьому глибше.

Тому що мова зайшла про ентропію, то нам доведеться знайти її мікроскопічний опис. Коли ми говоримо, що в чомусь (наприклад, у газі) міститься визначена кількість енергії, то ми можемо звернутися до мікроскопічної картини цього явища і сказати, що кожен атом має визначену енергію. Повна енергія є сума енергій атомів. Так само, у кожного атома є своя визначена ентропія. Підсумовуючи, одержимо повну ентропію. Насправді тут все – не так гладко, але все-таки давайте подивимося, що вийде.

У виді прикладу підрахуємо різницю ентропії газу при одній температурі, але в різних обсягах. Для зміни ентропії ми одержали

$$\Delta S = \int \frac{dQ}{T}$$

У нашому випадку енергія газу до і після розширення така сама, тому що температура не змінювалася. Отже, щоб виконати роботу, пророблену газом, потрібно додати йому якусь кількість тепла. Для малих змін обсягу

$$dQ = PdV$$

Так одержимо

$$\Delta S = \int_{V_1}^{V_2} P \frac{dV}{T} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{NkT}{V} \frac{dV}{T} = Nk \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Наприклад, при подвоєнні обсягу ентропія змінюється на $Nk \ln 2$.

Розглянемо тепер інший цікавий приклад. Нехай є циліндр із перегородкою посередині. З одного боку – неон (“чорні” молекули), а з іншого – аргон (“білі” молекули). Заберемо перегородку і дозволимо газам перемішатися. Як зміниться ентропія? Можна уявити собі, що замість перегородки між газами є поршень з отворами, в які проходять білі молекули і не проходять чорні, і інший поршень зі зворотними властивостями. Зрушуючи поршень до підстави циліндра, легко зрозуміти, що для кожного газу задача зводиться до тільки що вирішеного. Ентропія, таким чином, змінюється на $Nk \ln 2$; це значить, що ентропія на одну молекулу зростає на $k \ln 2$. Цифра 2 з’явилася від того, що вдвічі збільшився обсяг, який приходить на одну молекулу. Дивна обставина! У ньому проявилася властивість не самої молекули, а вільного місця довкола неї.

Виходить, що ентропія збільшується, коли температура й енергія не міняються, а змінився тільки розподіл молекул!

Ми знаємо, що варто забрати перегородку, і гази через якийсь час перемішаються через зіткнення, коливання, удари молекул і т.д. Варто забрати перегородку, і якась біла молекула почне наближатися до чорного, а чорна – до білої, вони проскочать одна

мимо одного і т.д. Поступово якісь з білих молекул проникнуть випадково в обсяг, зайнятий чорними, а чорні – в зону білих. Через якийсь час вийде суміш. У загальному це необоротний процес реального світу, він повинний привести до росту ентропії.

Перед нами простий приклад необоротного процесу, що цілком складається з оборотних подій. Щораз, коли відбувається зіткнення двох молекул, вони розлітаються у визначених напрямках. Якщо запустити кінострічку, на якій зняті зіткнення, у зворотний бік, то нічого неправильного на екрані не з'явиться. Адже один вид зіткнень настільки ж ймовірний, як і іншої. Тому перемішування цілком оборотне, і проте воно необоротне. Кожному відомо, що, взявши окремо біле й окремо чорне і перемішавши їх, ми через кілька хвилин одержимо суміш. Почекаємо ще скільки-то там хвилин – вони не відокремляться, суміш залишиться сумішню. Отже, буває необоротність, заснована на оборотних ситуаціях. Але тепер нам ясна і причина. Ми почали з розташування, що у якомусь змісті упорядковане. У хаосі зіткнень воно стало неупорядкованим. Перехід від упорядкованого розташування до безладного є джерелом необоротності.

Звичайно, якби ми зняли на кінострічку цей рух і пустили б потім плівку назад, те побачили б, як поступово встановлюється порядок. Хто-небудь міг би заперечити: “Але це – супроти всіх законів фізики!” Тоді ми б прокрутили фільм ще раз і переглянули б кожне зіткнення. Усі вони були б бездоганні, кожне підкорялося б законам фізики. Усе ціле, звичайно, у тім, що швидкості кожної молекули були б витримані в точності, так що, якщо простежити їхні шляхи назад, ми повернемося до початкових умов. Але така ситуація вкрай мало ймовірна. Якщо мати справа не зі спеціально приготовленим газом, а просто з білими і чорними молекулами, їх ніколи не вдалося б повернути назад.

Отже, ми повинні тепер поговорити про те, що розуміти під безладдям і що – під порядком. Справа не в тім, що порядок приємний, а безладдя неприємне. Наші змішані і незмішані гази відрізняються наступним. Нехай ми розділили простір на маленькі

елементи об'єму. Скількома способами можна розмістити білі і чорні молекули в елементах об'єму так, щоб білі виявилися на одній стороні, а чорні – на протилежній? І скількома способами можна їх розмістити без цього обмеження? Ясно, у другому випадку способів набагато більше. Ми вимірюємо “безладдя” у чомусь за числом способів, яким може бути переставлено його вміст, аби зовні усе виглядало без зміни. Логарифм числа способів – це ентропія. У циліндрі з розділеними газами число способів менше й ентропія менша, тобто менше “безладдя”.

Користаючись цим технічним визначенням “безладдя”, можна зрозуміти наше твердження. По-перше, ентропія вимірює “безладдя”. По-друге, Всесвіт завжди переходить від “порядку” до “безладдя”, тому ентропія завжди росте. Порядок не є порядок у тім змісті, що саме це розміщення молекул нам подобається; суть у тім, що число різних способів розставити молекули (аби з боку розміщення виглядали однаково) відносно обмежені. Коли ми крутили назад наш фільм про перемішування газів, було не так багато безладдя. Кожен окремих атом мав у точності необхідні швидкість і напрямок, щоб вийти куди покладено! Ентропія була в загальному невисока, хоча це і не було помітно.

А що можна сказати про необоротність інших фізичних законів? Коли ми розглянемо електричне поле заряду, що прискорюється, ми повинні брати запізніле поле. В момент t на відстані r від заряду треба брати поле, створене прискоренням у момент $t - r/c$, а не в момент $t + r/c$. Тому закони електрики на перший погляд необоротні. Разом з тим дуже дивно, що ці закони впливають з рівнянь Максвелла, що насправді оборотні. Однак можна привести довід, що якби ми користалися тільки випереджуючим полем – полем, що відповідає положенню справ у момент $t + r/c$, і зробили це зовсім послідовно в цілком замкнутому просторі, те усе відбувалося б так само, як при вживанні запізнілих полів! Ця удавана необоротність у теорії електрики, у такий спосіб (принаймні в замкнутому просторі), зовсім не є необоротністю. Адже, коли коливний заряд створює поле, що відбивається від стінок посудини, то в кінцевому рахунку встановлюється рівновага, у якому

однобічності немає місця. Запізнілі поля – тільки прийом, зручний метод рішення.

Наскільки відомо, всі основні закони фізики, подібно рівнянням Ньютона, оборотні. Тоді відкіля необоротність? Вона – через перетворення порядку в безладдя. Але це твердження все ж не зрозуміле, поки ми не знаємо, відкіля порядок. Чому ситуації, в яких ми виявляємося щодня, ніколи не бувають рівноважними? Одне мислиме пояснення таке. Розглянемо знову наш циліндр із сумішшю білих і чорних молекул. Якщо стежити за ним досить довго, може виявитися, що за чисто випадковим, украй неймовірним, але все-таки мислимим збігом обставин білі молекули розподіляться головним чином біля дна, а чорні – зверху. Після цього з часом вони знову почнуть перемішуватися.

Отже, одне можливе пояснення високого ступеня упорядкованості нинішнього світу полягає в тім, що нам просто повезло. Імовірно, якимсь один раз у Всесвіті трапилася флуктуація, усе розділилося, а тепер знову повертається до колишнього. Така теорія не несиметрична; на питання, як міг би виглядати розділений газ небагато раніш чи небагато пізніше, вона відповість: у будь-якому випадку ми побачили б сіру пляму, тому що молекули знову змішалися б. Як би не протікав час, вперед чи назад, газ усе рівно перемішався б. Таким чином, за цією теорією саме необоротність є однією з випадків життя.

Легко показати, що це не так. Припустимо, що ми дивимося не на весь циліндр відразу, а на якусь частину його. Нехай у якийсь момент ми відкрили в цій частині визначений ступінь порядку: біле з чорним у ній розділені. Що звідси впливає для частин, що ми ще не розглядали? Якщо ми і справді вважаємо, що порядок виникає з безладдя шляхом флуктуації, то ми зобов'язані розглянути саму ймовірну флуктуацію з тих, котрі здатні в нашій частині установити порядок. Але при такій найімовірнішій флуктуації інша частина посудини зовсім не повинна розсортуватися – зовсім навпаки! Виходить, з гіпотези, що світ – це флуктуація, впливає, що, коли ми глянемо на частину світу, колись нами не бачену, ми повинні знайти в ній суміш, безладдя, на відміну від відомого нам раніше світу. Якщо весь наш порядок

є флуктуація, викид, ми не сміємо сподіватися на порядок де-небудь поверх того, де він уже виявлений.

Тепер припустимо, що поділ відбувся від того, що в минулому Всесвіт був справді упорядкований (не через флуктуацію, а просто біле і чорне були спочатку відособлені). Тоді ця теорія пророчить, що в інших місцях теж повинний бути порядок, порядок не як випадковість, а через те, що за старих часів порядок був кращий. Тоді можна сказати, що ми знайдемо в місцях, що яких ще не бачили, порядок.

Астрономи, наприклад, поки спостерігали не всі зорі. Щоночі вони наводять свої телескопи на нові зорі, і ці зорі поведуться так само, як і старі. З цього ми укладаємо, що Всесвіт – не флуктуація і що наш порядок – це пам'ять про ті часи, коли все тільки починалося. Ми не говоримо, що нам зрозуміла логіка цього. З якихось причин Всесвіт колись мав дуже малу для свого енерговмісту ентропію, і з тієї пори ентропія виросла. Це – шлях у напрямку в майбутнє. У цьому початок усіх необоротностей. Саме це породжує процеси росту і розпаду. Саме через це ми згадуємо не майбутнє, а минуле, згадуємо події, що ближче до того моменту в історії світу, коли порядок був більший від нинішнього. Саме тому ми не здатні згадати події того часу, в якому безлад сильніший теперішнього, – ми називаємо цей час майбутнім.

Як кажуть, у склянці вина відкривається нам увесь Всесвіт, варто тільки заглянути в нього глибше. Склянка вина – штука досить складна, є там і волога, і скло, і світло, і ще багато чого іншого.

Принадність фізики ще й у тім, що навіть такі прості й ідеалізовані речі, як храповик із собачкою у годиннику, діють лише тому, що і вони – частина Всесвіту. Храповик із собачкою працюють в один бік тільки тому, що вони перебувають у тісному контакті з цілим Всесвітом. Якби храповик із собачкою помістити в посудину й ізолювати на якийсь час, то коліщатко перестане віддавати перевагу одному напрямкові обертання перед іншим. Але з тої ж причини, з якої ми, відкриваючи штори, впускаємо світло, через що ми йдемо остигати в тінь і грітися на сонці, з тої ж причини храповик із собачкою крутиться лише в

один бік. Однобічність зв'язана якось з тим, що храповик – це частина нашого Всесвіту. Частина Всесвіту не тільки в тім змісті, що храповик підкоряється законам Всесвіту, але й у тім, що його однобічність поведіння зв'язана з однобічною поведінкою усього Всесвіту. Поведінка храповика не буде зрозумілою до кінця, доки таємниця початку Всесвіту з неясних гіпотез не перейде в царину наукового пізнання”.

ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ ЯК КОНЦЕПЦІЯ. Явища як електричні, так і магнітні, окремо взяті, привертали увагу людей віддавна. Щодо перших, то вже у “Метрології” Аристотель відзначив “особливу любов блискавки до металів (“траплялося, що мідь щита розплавлювалася”), блискавка була причиною значних руйнувань (упродовж місяця в Бретані 1773 р. вона зруйнувала 24 дзвіниці, при враженні башти, де зберігалися запаси пороху, в Італії 1769 р. загинуло понад 6000 чоловік, в наш час у США від блискавки щороку настає близько 7500 лісових пожеж тощо). Згодом привернула увагу і куляста блискавка, її енергію оцінено в 10 – 20 кг толового заряду. Досліджено прояви “електричних риб”, яких налічують бл. 300 видів. Зокрема, двометровий скат створює імпульс напругою до 60 вольтів при силі струму 50 амперів. Ще одно електричне явище – “вогні святого Ельма” на щоглах кораблів у формі запалених свічок.

З іншого боку, вже Одисей розповідав про електрон, оправлений у золото – елемент намиста, це мав би бути відшліфований шматок янтаря. Віддавна знали, що він здатний притягувати пилінки, нитки, кусочки папіруса. Тому й названо його електроном – “тим, хто притягує до себе”. Давні знали й інший камінь – магніт, назва нібито від імені легендарного волопаса Магніса, який виявив, що цвяхи його сандалій прилипають до невідомих каменів. Магнітні голки, що вказували напрям північ-південь, були відомі чи не 1000 р. до н.е. китайцям.

Оглянутися назад доречно, бо іноді, як бачимо, пізнання просувається уперед зигзагами. Скажімо, англійський учений (за фахом лікар) **Вільям Гільберт** (1540 – 1603), з'ясовуючи

природу електричних і магнітних явищ (він якраз вжив слово *електрика*) висловивши думку, що дія магніту поширюється подібно до світла, “зумів відділити електричні явища від магнітних. Відділити, щоб через 200 років зусиллями багатьох учених вони були знову об’єднані, але вже на іншій основі”. Згодом був американець **Бенджамін Франклін** (1706 – 1790), який уперше увів поняття позитивної і негативної електрики, батареї, конденсатора, провідника, заряду, розряду тощо, руху струму “від плюса до мінуса” (хоча насправді є рух електронів у протилежний бік), винайшов громовідвід.

І ось у 1820 р. **Ханс Ерстед** (1777 – 1851) довів правильність свого передбачення (“варто поспробувати, чи не створює електрика... якусь дію на магніт”): якщо у провіднику проходить струм, то стрілка близького компаса дещо відхиляється. Детальніше це зразу ж дослідив **Андре-М. Ампер** (1775 – 1836): “електрика і магнетизм явно взаємодіють одне з одним – факт, абсолютно несподіваний для вчених, які покладали, що, як це довів **Гільберт**, нічого спільного не мають”. Ампер “звів усі магнітні явища до чисто електричних ефектів”. Невдовзі **Майкл Фарадей** (1791 – 1867) у 1831 р., швидко всуваючи залізний сердечник у котушку, виявив: у певний момент у її колі виникає струм. Так відкрито явище *електромагнітної індукції* (і винайдено електрогенератор та електродвигун). Тепер кажемо: “із міркувань симетрії ясно, що якщо електричний струм (тобто рухомий електричний заряд) створює магнітне поле, то електричне поле повинно створюватися при русі магніту чи магнітного поля”. Був тут недолік: Фарадей зовсім не знав математики (як висловився Айнштайн, його розум “ніколи не застрягав у формулах”), потрібен був теоретик... Щоправда, **Фарадей** висловив геніальне передбачення:

має бути “проміжний агент”, завдяки якому передається дія від одного тіла до іншого, і він ужив поняття *поле*, це поле мало б бути пронизане магнітними і електричними “силовими лініями”.

Зусиллями трьох фізиків теорія електромагнетизму досягла класичного рівня. **Джеймс Максвелл** (1831 – 1879) розробив

“максвелівську теорію електромагнітного поля”, беззастережно прийнявши фарадееву концепцію поля і надавши поглядам Фарадея певної математичної форми. Він з’ясував, що електромагнітне поле поширюється як незатухаюча хвиля, причому енергію магнітного поля у вакуумі повністю переходить в енергію поля електричного і навпаки, і що ці хвилі – поперечні, як і, нарешті, що швидкість їх поширення рівна швидкості світла, **Генріх Р. Герц** (1857 – 1894) надав рівнянням Максвелла сучасний вигляд (замість 12-ти їх стало чотири), а ще – зумів довести реальність цих хвиль і реєстрацією їх в іншому колі, і виявленям їх відхилення внаслідок проходження через призму (із асфальту, вагою дві тонни). **Олівер Хевісайд** (1850 – 1925) практично дослідив особливості поширення електромагнітних хвиль в земній атмосфері і в кабелях.

КОСМОЛОГІЧНІ ПАРАДОКСИ. *Парадоксом* (гр. παραδοξος – несподіваний, дивний) зветься явище або погляд, думка, які різко розходяться з усталеними й загальноприйнятими уявленнями. З логічної точки зору парадокс зовні виглядає правильно, однак містить дефект у вихідних засновках. Так звані космологічні парадокси виникли внаслідок екстраполяції (поширення) законів класичної фізики, загалом правильних “тут”, у земних лабораторіях, на весь Всесвіт. Конкретно, **фотометричний і гравітаційний парадокси** заперечували уявлення про безконечність Всесвіту в просторі, “**теплова смерть**” – уявлення про вічність його в часі.

Фотометричний парадокс формулюється так: при безконечності Всесвіту і нескінченному числі зір у ньому зорі були б видні в усіх напрямках, заповнюючи собою небо. Внаслідок цього воно повинно сліпуче сяяти. Насправді нічне небо темне. Отже, цей спостережуваний факт суперечить припущенню про безконечність Всесвіту.

Швейцарський астроном **Жан Шезо** (+1751 р.), який вперше розглянув цей парадокс, висловив думку: “Найшвидше це пилові хмари заслоняють від нас світло далеких зір. Земним спостерігачам доступні лише промені найближчих світил”. Однак німецький астроном **Генріх Ольберс** (+1840 р.) довів, що такі хмари поступово

нагрілися б і випромінювали б стільки ж світла, скільки поглинають. Отже, фотометричний парадокс неминуче приводив до одного з двох висновків: або Всесвіт не є безконечним, або число зір у ньому обмежене.

У 1895р. німецький астроном **Хуго Зелігер** (+1924 р.) проаналізував *гравітаційний парадокс*: якщо в безконечному просторі густина речовини не нескінченно мала, а кожні дві частинки притягуються взаємно за законами Ньютона, то сила тяжіння, що діє на будь-яке тіло, була б нескінченно велика, і під її дією тіла набували б нескінченно великих швидкостей. А це також не спостерігається.

Для усунення цих парадоксів висловлювали різні гіпотези, зокрема: 1) що загальна маса усіх тіл у Всесвіті скінченна, 2) що середня густина речовини у світовому просторі навіть при нескінченній масі близька до нуля і 3) що закон всесвітнього тяжіння є неточним.

Першу гіпотезу відкинув Ньютон: у цьому випадку під дією сили тяжіння усі маси утворили б єдину зоряну систему. Щоправда, подальший аналіз показав: з часом зорі “випаровувалися б” з неї і заповнили б Всесвіт рівномірно. Отже, цим шляхом усунути парадокс не вдавалося. Після тривалого аналізу було відкинута і третю гіпотезу.

За другою гіпотезою Всесвіт мав би мати “ієрархічну” структуру: відстані між системами вищого порядку (скажімо, між галактиками) повинні бути принаймні в десять разів більшими за розміри самих систем (галактик). Ця гіпотеза була майже загальноприйнятою упродовж багатьох десятків років. Однак з часом виявилось, що у великих масштабах світ галактик є однорідним, ніякої “ієрархічності” в ньому не знайдено.

Обох парадоксів немає в сучасній космології, яка базується на загальній теорії відносності, враховуючи факт розширення Всесвіту. Віддалення чи “розбігання” галактик призводить до зміщення ліній у їх спектрах у червоний бік. Завдяки цьому червоному зміщенню, хоча Всесвіт і є необмеженим, до нас доходять світлові промені лише з обмеженої його частини. На певній відстані від нас – близько 15 млрд. світлових років –

червоне зміщення стає нескінченно великим. Тут знаходиться *горизонт подій*. З відстаней, які перевищують горизонт подій, світлові сигнали до нас не доходять. І все, що знаходиться за цим горизонтом подій, у принципі для наших спостережень недоступне.

Складнішим є сьогодні питання про теплову смерть Всесвіту. Воно виникло в 1850 р., коли німецький фізик **Рудольф Клаузіус** дійшов висновку, що в природі тепло переходить від теплого тіла до холодного, Тоді ж, як уже згадано раніше, Уільям Томпсон обґрунтував наявність у Всесвіті процесів, що призводять до вирівнювання температури Всесвіту. Врешті-решт це й призводить до “теплової смерті” Всесвіту – “рівномірного розподілу тепла” між тілами Всесвіту, внаслідок чого будь-які процеси в ньому стають неможливими.

Як уже сказано, перші два парадокси вступали в суперечність з концепцією безконечності простору. Теорія ж теплової смерті заперечувала ідею вічності Всесвіту в часі. Бо якщо світ, існує вічно, то вирівнювання температури в ньому, а отже, і тепла смерть повинні були статися в далекому минулому.

З усього наведеного вище опису розширення Всесвіту, що розпочалося близько 15 млрд. років тому, можна зробити висновок: Всесвіт “з тими станами і формами матерії та їх законами, які відомі сьогодні”, не є “вічним у часі”. Однак цим парадокс “теплової смерті” не знімається. Навпаки, він постає перед дослідниками у зовсім новому світлі. Адже тепер доведено, що ота однорідність температури (як “винятково висока” до того ж!) вже була при зародженні Всесвіту. А проте це не завадило розгортанню в ньому найрізноманітніших процесів, які призвели до появи усіх наявних у ньому складних структур, зокрема у світі живого.

Отже, привид “теплової смерті” сьогодні не зник, він лише уявляється зовсім інакше. Як побачимо далі, з сучасної теорії елементарних частинок випливає, що протон насправді не є стабільною частинкою. І тому зараз говорять, що в далекому майбутньому, через 10^{33} років, Всесвіт перетвориться в

“лептонну пустелю”, тобто в ньому будуть лише легкі частинки типу електрона, позитрона і нейтрино.

Річ ясна, така екстраполяція, таке поширення певних висновків на так віддалений час позбавлене реальних підстав. Фізики й астрономи не знають усіх законів природи, зокрема тих, які керують розвитком Всесвіту, як і тих законів, що керують “змінюю законів”. Тут можна лише сказати, що в кожний момент часу покоління вчених, яке проводить наукові дослідження, відкриває все нові, все дивовижніші грані Буття.

ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ: СПЕЦІАЛЬНА І ЗАГАЛЬНА. У 1904 р. **А.Пуанкаре** сформулював *принцип відносності* “як потребу ХХ ст.”: ніякими експериментами, проведеними у лабораторії, дослідник не виявить, рухається його лабораторія рівномірно і прямолінійно, чи перебуває у спокої. Через рік він же писав: “Неможливість довести шляхом дослідів абсолютний рух Землі є, очевидно, загальним законом природи...”

У 1905 р. **Альберт Айнштайн** (1879 – 1955) опублікував свої два постулати: 1) *закони природи однакові у всіх інерціальних системах координат*; 2) *швидкість світла у вакуумі у всіх інерціальних системах однакова, перехід від одної системи координат до іншої здійснюється за перетвореннями Лоренца*; важливим висновком тут є зв’язок між масою тіла m і його енергією E : $E=mc^2$.

У 1908 р. **Герман Мінковський** (1864 – 1909) увів поняття *чотиривимірного простору-часу*. Тут визначальним є *інтервал* між подіями – ds . Перехід від однієї системи до іншої розглядається як “поворот” координатних осей у 4-просторі. Виявилось необхідним розрізняти *власний час* τ (скажімо, виміряний космонавтами у ракеті, що рухається до інших світів) і *координатний час* t (час операторів-землян, які реєструють сигнал космонавтів).

Вихідним принципом загальної теорії відносності є рівність інертної і гравітаційної (важкої) маси. Можна при цьому згадати, що **Ернест Мах** (1838 – 1916) пояснював інерцію тіл впливом, що його тіло зазнає з боку всіх навколишніх зір.

При ньому нібито важна маса обумовлена дією близьких мас (зір і галактик), інертна – далеких. Отож у ХХ ст. вже поставлено питання так: чи можна за допомогою якихось експериментів, здійснюваних всередині лабораторії, виявити її прискорений рух? Айнштайн розглянув події, що відбуваються у ліфті коли він вільно падає з погляду пасажира і зовнішнього спостерігача. “Поле тяжіння існує лише для спостерігача, як і прискорений рух ліфта. Для пасажира – відсутність поля тяжіння”. В основі розмірковувань є еквівалентність мас.

Це – **концепція еквівалентності прискорення й тяжіння**. І в цей спосіб ТВ поширюється на неінерціальні рухи. Однак – в дуже малих масштабах: **принцип еквівалентності має тільки локальне значення!**

З певних міркувань (як ось диск, що швидко обертається) було з’ясовано, що рівняння ЗТВ слід записувати у неевклідовій 4-вимірній системі. Але: “Загальні закони природи повинні описуватися рівняннями, справедливими в усіх системах координат”. Це – **принцип загальної коваріантності**. Рівняння коваріантні, якщо вони не змінюють своєї форми з переходом до іншої СК (зокрема, якщо ця друга рухається відносно 1-ї з прискоренням).

ЗТВ описує властивості 4-простору-часу з урахуванням конкретного розподілу матерії, використовуючи співвідношення **ріманової геометрії**, де квадрат відстані між двома близькими

точками $ds^2 = \sum_{i,k=1}^4 g_{ik} dx_i dx_k$. Тут сукупність 16 величин g_{ik} (з них

незалежних 10, бо $g_{ik} = g_{ki}$) названо **фундаментальним метричним тензором** другого рангу. q_{ik} – **метричні коефіцієнти**. Міра викривлення простору визначається

компонентами тензора четвертого рангу R_{ikmn} як відношення

$\Delta\varphi/\Delta\sigma$ (при $\Delta\sigma \rightarrow 0$), де $\Delta\varphi$ – кут між початковим і кінцевим

напрямами вектора, $\Delta\sigma$ – площа, обмежена контуром, уздовж якого здійснюється паралельне перенесення цього вектора. Із

256 компонент цього тензора незалежних є лише 20. Завдяки особливій **операції згортки** з цього **тензора Рімана-**

Крістофеля отримують тензор 2-го рангу R_{mn} – **тензор Річчі**, подальша **операція згортки** дає **інваріант кривини R** . Властивості 4-простору в ЗТВ описують **тензором Айнштайна**

$G_{ik} = R_{ik} - \frac{1}{2}Rg_{ik}$, співставляючи його з **тензором імпульсу-енергії** T_{ik} ; обидва вони мають по 10 незалежних компонент. Фактично в решті-решт йдеться про систему G диференціальних рівнянь другого порядку, що впливають з рівняння

$$R_{ik} - \frac{1}{2}Rg_{ik} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{ik}$$

ЗТВ має три передбачені нею ефекти, які з високою точністю підтверджені спостереженнями: обертання в напрямі руху планети великої осі орбіти (йдеться передусім про Меркурій): відхилення променів далекої зорі при проходженні поблизу Сонця; зміщення в червоний бік спектра ліній світла, випромінюваного, зокрема, з поверхні зорі білого карлика. Правильність ЗТВ буде підтверджена і виявленням **гравітаційних хвиль**. Із ЗТВ випливає поняття **гравітаційного**

радіуса тіла $R_G = \frac{2Gm}{c^2}$ і відповідно сфери **Шварцшільда**,

поняття **чорної діри**, яка “формується” як тільки маса m “втискається” усередину сфери радіуса R . Такі об’єкти вже знайдено. ЗТВ є фундаментом сучасної космології (§ 9).

6. Концепції субатомного рівня

ДИСКРЕТНІСТЬ, ВИЯВЛЕНА ПЛАНКОМ. Наприкінці XIX ст. над картиною фізичної будови світу висіло кілька хмарок. Одна з них: спектральний розподіл енергії випромінюванню чорного тіла при високих частотах не узгоджувався з теоретичними обчисленнями, йдеться про “ультрафіолетову катастрофу”. Тоді то якраз **Макс Планк** (1858 – 1947) звернув увагу на дискретність спектрів атомів і молекул і запропонував гіпотезу, яка зовсім не впливала із законів класичної фізики. Він припустив, що *тіла поглинають і випромінюють електромагнітну енергію порціями*, які він назвав *квантами*, Звідси походить і назва нової теорії – квантова теорія. Іншими словами, енергія випромінювання на певній частоті може бути тільки $h\nu$, $2h\nu$, ... Таким чином, частота випроміненого або поглинутого світла ν зв'язана із зміною енергії речовини співвідношенням $E = h\nu$. Наступним кроком... було встановлення єдності корпускулярних (E, \vec{p}) і хвильових (ν, \vec{k}) властивостей речовини і поля. У 1905 р. А.Айнштейн показав, що в деяких випадках електромагнітне поле випромінювання зручно розглядати як сукупність квантів (частинок, названих згодом фотонами) /ФАМ, с.4/.

Отже, день 14 грудня 1900 р. – день народження квантової теорії. Тоді на засіданні Німецького фізичного товариства **Планк** постулював, що тіло, яке випромінює, складається з резонаторів різних частот. Він довів, що класичний осцилятор не може мати енергію kT , а енергію, що відповідає його частоті:

$$U = \frac{h\nu}{(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1)}$$

Загалом “на переломі” XIX-XX стт. усвідомлено і дискретність електричного заряду (це відзначене в книжці **Дж. Томсона** “Проходження електрики через газу”, 1903 р.), і стрибкоподібний характер змін енергії випромінювання. Поняття *дискретність* фізичних величин стало своєрідним гаслом XX ст. (як наприкінці його – поняття *симетрія*).

КОНЦЕПЦІЇ – ПОСТУЛАТИ БОРА. Як відомо, після аналізу нагромадженого матеріалу, зокрема, відкриттів **Гайгера** і **Марсдена**, 1909 р., повертання певного числа \forall -частинок при розсіюванні назад **Ернест Резерфорд** (1871 – 1937) показав, що атом складається “з центрального електричного заряду, зосередженого в точці і оточеного однорідним сферичним розподілом протилежної електрики такої ж величини”. Заслуговує особливої уваги зроблене на початку 20-х років ХХ ст. висловлювання співробітників Н. Бора **Г.А. Крамерса** і **Х.Гольста** про стан фізики на початку ХХ ст.: “Були чотири окремі розділи фізики, самі по собі добре обґрунтовані, але зв’язку між ними не існувало: до певної міри вони були навіть несумісні один з одним. Перший розділ – це класична електродинаміка, завершена блискучою електронною теорією Лоренца і Лармора. Другий розділ – дані дослідів про спектри, об’єднані емпіричними законами Бальмера, Рітца і Рідберга. Третій розділ – дані Резерфорда про нуклеарний атом і, нарешті, четвертий – квантова теорія чорного випромінювання Планка. Було очевидним, що розвиток теорії випромінювання і будови атома застигне до тої пори, доки ці чотири царини залишаються відокремленими і одна з одною не пов’язані”.

Про це ж у 1906 р. **Джонстон Стоней** (1826 – 1911) сказав так: “Ніхто ще не досягнув успіху, прокладаючи шлях від періодичностей, інтенсивностей та інших властивостей спектральних ліній елемента до такого руху електронів, який був би здатний точно відтворити ці тонкі ефекти. Інформація, яку дає нам природа, експонована у спектрах. Вона записана в них, але такою мовою, яка ніколи не була розшифрована”.

Упродовж кількох років було висловлено цілу низку оригінальних думок, як ось: електрон описує колову орбіту в магнітному полі, яке створюється елементарними магнітами, розташованими певним чином на осі (**В.Рітц**), “кожний центр випромінювання здійснює складний рух і він, розкладений призмою або ґраткою, дає цілий ряд спектральних ліній” (**Г.Кайзер**),

“атом, здатний випромінювати, повинен перебувати в особливому, збудженому стані (**А.Конвей**), “обмін енергією між атомами відбувається згідно з Планком дискретними порціями” (**Дж.Нікольсон**).

Перша з трьох частина статті **Нільса Бора** (1885 – 1962) “Про будову атомів і молекул” вийшла у липні 1913 р. І ось як сформульовано там два головні постулати:

“1 ... динамічну рівновагу систем у стаціонарних станах можна розглядати за допомогою звичайної механіки, тоді як переходи системи між різними стаціонарними станами на цій основі розглядати неможливо.

2 ... цей другий процес призводить до випускання *однорідного* випромінювання, для якого співвідношення між частотою і величиною випроміненої енергії буде тим, яке дає теорія Планка”.

Доречно зауважити: перед публікацією цієї статті Бор отримав від **Резерфорда** таке питання: “Я виявив серйозну трудність у зв’язку з Вашою гіпотезою, щодо якої Ви, безперечно, даєте собі звіт; ... як може знати електрон, з якою частотою він має коливатися, коли він переходить з одного стаціонарного стану в інший? Мені здається, що Ви змушені покласти, нібито електрон завчасно знає, де він має намір зупинитися”. Це питання і в подальшому ще обговорювалося нераз.

Розповідають, з дитинства Бор любив повторювати: “На світі є настільки серйозні речі, що обговорювати їх можна лише жартома”. Отож до другого постулату Бора було дивним, як взагалі існують атоми (і весь світ), бо ж електрони, за класичною теорією, мали б “звалюватися” на ядра. Згодом **Бор** визнав: “Я ніколи не сприймав буквально вираз *планетарний атом*”. Мовляв, це лише *образ* атома, а не справжнє його зображення. “І, як виглядає, додав, що насправді залишається цілком незбагненим, чому виявилася працездатною його, борівська, теорія цього атома: у ній поєднується явно непримириме – класична неперервність (обертання на орбітах) і некласична перервність (квантові стрибки) ... запам’яталися

слова про те, що *в нас немає іншої мови, крім мови звичайної класичної фізики*, для опису мікросвіту, а насправді *ця мова непридатна для квантової реальності*”.

Водночас, хоча вже в 1905 р. А.Айнштайн увів уявлення про дискретну квантову структуру самого світлового випромінювання, розглядаючи його як потік квантів світла – *фотонів*, Бор довго не визнавав реальності квантів, їх двоїстої природи!

КОРПУСКУЛЯРНО-ХВИЛЬОВИЙ ДУАЛІЗМ:
РОЗШИРЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ. Корпускулярні і хвильові властивості одночасно наявні у світлових променях – цей факт надихнув **Луї де Бройля** (1892 – 1983) зформулювати ідею про існування хвильових властивостей у “справжніх” частинок. В своїй статті у 1923 р. він писав: “В оптиці довелося ввести поняття частинки поряд із поняттям хвилі, Здавалося, що природа світла має дивовижну “подвійність”. Але якщо в теорії світла упродовж століття надто нехтували поняттям “частинки” для того, щоб користуватися виключно поняттям “хвилі”, чи не було допущено протилежної помилки в теорії матерії? Чи повинні були фізики нехтувати поняттям “хвилі” і думати лише про поняття “частинки”?”.

Отож у 1923 р. **де Бройль** “поширив ідею А.Айнштайна про двоїстість природи світла на речовину, поклавши, що потік матеріальних частинок повинен мати і хвильові властивості, однозначно зв’язані і з масою і з енергією. Інакше кажучи, рух частинки де Бройль співставив із поширенням хвилі. Невдовзі це було блискуче підтверджене експериментально в дифракції електронів у кристалах (1927) ... Цю ідею про хвильові властивості матерії (*хвилі де Бройля*), про всезагальність корпускулярно-хвильового дуалізму **Е.Шредінгер** використав при створенні своєї хвильової механіки” /ХЮА, с. 46/. Для довжини *хвилі де Бройля* маємо $\lambda = h/mv$.

“Перші праці де Бройля, в яких висловлена ідея хвиль, ... не звернули на себе серйозної уваги з боку більшості фізиків-теоретиків... Інтерес до них виявив Айнштайн, який хоча і

назвав дисертацію де Бройля книгою, написаною наче божевільним, а проте вона зацікавила його”.

НЕМОЖЛИВІСТЬ ПОБУДОВИ ТЕОРІЇ
ІНДИВІДУАЛЬНОГО МІКРОПРОЦЕСУ. Беручи до уваги подальші труднощі викладу матеріалу, наведемо слова Р.Фейнмана /Ф-Л-С, т. 5, с. 28/: “Фізик повинен володіти вмінням підходу до задачі з різних точок зору. Точний аналіз реальних фізичних проблем зазвичай украй складний. І будь-яке конкретне фізичне явище може виявитися надто заплутаним і таким, що не піддається аналізу шляхом розв’язування диференціальних рівнянь. Однак можна все ж отримати непогане уявлення про поведінку системи, виробивши у собі особливу здатність відчувати тип розв’язку у різних обставинах”, Бо: “Є лише один точний спосіб представлення законів – спосіб диференціальних рівнянь. Рівняння мають ту перевагу, що, по-перше, вони фундаментальні, а по-друге, наскільки нам відомо, точні...” Однак “реальні фізичні ситуації реального світу настільки заплутані, що необхідно володіти значно ширшим розумінням рівнянь. **Дірак** пояснив, що значить збагнути рівняння – зрозуміти, не обмежуючись його строгим математичним смислом. Він сказав: “Я вважаю, що зрозумів смисл рівняння, якщо у змозі представити собі загальний вигляд його розв’язку, не розв’язуючи його безпосередньо” ∴ Отже, *фізичне розуміння – це щось неточне, невизначене і абсолютно нематематичне, але для фізика воно дуже необхідне*”.

Розробка математичних методів квантової механіки розпочалася у 1925 р. зі статті **Вернера Гайзенберга** (1901 – 1975), де він, критикуючи стару теорію за оперування принципово неспостережуваними величинами (як ось положення і період обертання електрона), співставляє електрону його випромінювання, що описується частотами й амплітудами, фазою та енергією. Ознайомившись з нею, **Макс Борн** (1882 – 1970) визнав, що так “геніальним прийомом обумовлено новий поворот у квантовій теорії”. Тут же він із П.Йорданом розробив основи (формалізм) *матричної механіки* у застосуванні до

гармонічного осцилятора. Водночас **Вольфганг Паулі** (1900 – 1958) поставив задачу “звільнити механіку Гайзенберга від ... формальної оболонки вченості, щоб краще розкрити її фізичний зміст”. А **Поль Дірак** (1902 – 1984) тоді ж, у 1925 р., розвинув особливу *символічну алгебру станів* і спостережуваних величин. Кожен стан системи можна позначати символом P , який задовольняє принципу суперпозиції.

Наглядну теорію нової механіки у 1926 р. запропонував **Е.Шредінгер** у статті “Квантування як проблема власних значень”, в якій, на підставі ідеї де Бройля, розглянув задачу обчислення спектра водню як задачу на власні значення. Отже, Гайзенберг запропонував перший варіант *матричної механіки*, Шредінгер – *механіки хвильової*. Було з’ясовано, що вони різними мовами описують одне і те ж, вони – еквівалентні. Хоча “хвиля – це знак необмеженості у просторі”, “частинка – знак концентрації в точці”. Це були “стрибки у протилежні боки”, але теорія атома водню в обох випадках впливала з них однаково переконливо.

Заслуговує уваги взаємна оцінка авторами ідей “суперника”. бо ж на початку кожен вважав, що саме він адекватно здатен описати проблему. Шредінгер назвав метод Гайзенберга таким, що “породжує нудьгу”, якщо не “відштовхуючим”. Гайзенберг заявляв: “чим більше я обдумую фізичний бік теорії Шредінгера, тим бридкішою вона мені здається”. Бо: “один стверджував, що фізично реальні лише хвилі, а їхня корпускулярність – математична ілюзія (корисна, а все ж ілюзія); інший стверджував, що фізично реальні лише частинки, а їх хвилеподібність – математична маска (добротна, але маска)” /ДДС, с. 49/. Не дивно: бракувало певних елементів, що завершили б конструкцію.

СПІВВІДНОШЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ. Як висловився Р.Фейнман /т. 8-9/, доводилося перестрибнути через одну перепону: засвоїти, що ми більше не маємо права *детально* описувати поведінку частинок у просторі. Бо квантовомеханічна поведінка речей надзвичайно дивна. “Ніхто

не може покладатися на те, що його щоденний досвід дасть йому інтуїтивне, грубе уявлення про те, що повинно відбутися. Можна... досить грубо описати, що трапиться, але не формулювати точних законів, або ж можна наводити і точні закони в їх абстрактному вигляді. Але тоді ця абстракція приведе до того, що ви не будете знати, до чого фізично вона відноситься... І ми не знаємо, як цю трудність оминати” /с. 10/.

Отож – у дослідженнях мікросвіту довелося відмовитися від звичного поняття траєкторії, по якій рухається частинка, бо ж для хвилі таке поняття не має смислу. Шредінгер було уявив хвильову функцію як “відображення” “розмазаного” заряду електрона. Тоді ж де Бройль висловив гіпотезу, за якою хвильова функція P відіграє роль незвичайного нематеріального поля, в якому особливою точкою є частинка, керована цим полем. Після деякої дискусії визнано, що функція P , яка входить у рівняння квантової механіки, тобто *хвильова функція*, має, як це запропонував **Борн** у 1926 р., статистичну інтерпретацію (тобто не представляє жодного фізичного поля, а має імовірнісний смисл).

Отже, розв’язок рівняння Шредінгера – функція P , точніше $|P|^2$, дозволяє визначити імовірність перебування частинки у певному елементі об’єму. Тоді ж, на початку 1926 р., **Гайзенберг** збагнув, що механіці мікросвіту в якості фундаментального закону бракує *співвідношення невизначеностей*. Ось його роздуми “про рух електрона в атомі: чому він не піддається звичайному спостереженню і опису? Хіба б не міг допомогти ідеальний – надчутливий – мікроскоп? Проведемо уявний експеримент... Квант світла, наче голка, “наколе” електрон і вкаже його координату, якщо одночасно ухитритися виміряти швидкість електрона, стане можливим точка за точкою встановити траєкторію його руху. Але квант його “наколе” не точніше ширини свого “вістря” – довжини хвилі узятого світла. Неминуча невизначеність у координаті. А понад те, в момент наколювання квант зіб’є електрон із його шляху і безконтрольно з’явиться невизначеність у швидкості. Можна зменшувати цю

невизначеність, беручи все менш енергійні – менш порушуючі рух – кванти. Але такі кванти будуть все більше довгохвильовими. І буде мимоволі зростати невизначеність в координаті. Гайзенберг поставив питання: як далеко можемо нівелювати ці неозначеності?

Класична фізика відповіла б: у принципі до нуля – все залежить від точності вимірів. Однак тут відкрилося, що в мікросвіту такої відповіді немає: навіть в ідеальному вимірюванні невизначеності усунути неможливо. Вони властиві самій природі речей... І – *межа*, до якої можуть *сумісно* зводитися “в ніщо” ці невизначеності, задається... квантом дії – сталою Планка – все тим же “таємничим послром із реального світу”.

Отже, можна ввести поняття густини імовірності координати ΔX і швидкості ΔV частинки; і ці густини не можуть бути вибрані незалежно в тому розумінні, що вони не можуть бути якзавгодно вузькими. “Природа вимагає, щоб *добуток* цих двох величин був не меншим величини $\frac{h}{m}$, де m – маса частинки, h – стала Планка. Тобто $[\Delta X][\Delta V] \geq \frac{h}{m}$.

Цитуємо далі Фейнмана: “Принцип невизначеностей виражає ту неясність, яка повинна існувати при будь-якій спробі опису природи. Найточніший і найповніший опис природи має бути лише імовірнісним... Якщо хочемо зобразити атом водню, то уявляємо хмарку, густина якої пропорціональна густині імовірності... Але це – не реальна електронна хмарка, а лише хмарка імовірностей, деь там всередині неї є електрон, однак природа дозволяє нам лише здогадуватися, де саме він перебуває.

В своєму устремлінні дізнатися про природу речей якомога більше сучасна фізика виявила, що існують речі, пізнати які точно їй ніколи не вдасться, багато дечому із наших знань приречено залишатися невизначеним. Нам дано знати *лише* імовірності”. Це означає також, що навіть знаючи точно початковий стан системи, неможливо передбачити результати майбутніх вимірів.

Зазвичай підкреслюють, що співвідношення невизначеностей має статус онтологічного вихідного принципу у структурі теорії. Воно отримане не як індуктивне узагальнення даних спостережень, а введене “зверху”.

ПРИНЦИП ДОПОВНЮВАНOSTI. Отже, у мікросвіті немає кульок, а є частинки-хвилі. Будь-яке вимірювання стає актом вторгнення в буття вимірюваного, який змінює стан мікросистеми. І цього не можна змінити ні удосконаленнями методу досліду, ні поправками на помилки. А все тому, що **фізична для не може стати меншою за квант дії h** . Класична механіка це не підозрювала. Тому й вірили у всесильність її рівнянь... Голосом **Лапласа** мовила фаталістична філософія класичної – однозначної причинності... Думка **Бора** виявляла фізичну причину “безпричинності”. Неможливо було дати Лапласові те, чого немає: для мікрокентаврів у жоден момент часу неможливо точно встановити “початкові умови” – це не дозволяє зробити хвилеподібність частинок. І справа тут не в намірах фізика: ***в лабораторіях відбувається лише те, що дозволене самою природою. Це вона сама обходить без точних координат і швидкостей.*** Вона приховує для мікрокентаврів багатство можливостей, і яка з них здійсниться насправді – в акті чергової взаємодії – наперед точно невідомо. І квантова механіка, наслідуючи природу, може вести мову про імовірності різних варіантів. Вона ***механіка можливого*** в імовірнісним світі природи!

Розглядається психологічна картина: раптова зустріч гангстерів: вони можуть заховати зброю і розійтися, тут несумісність усувається. У мікросвіті такого виходу немає: в описі його дивності несумісності не можуть розійтися, як не можуть розійтися частинка і хвиля. Але ці протилежності не борються, а співіснують! Тут діалектика – некласична.

Тут – обмеженість придатності звичних образів і понять. Замінити їх нічим, та чи треба? Ось дивна поведінка світла все ж піддається повному опису за допомогою двох класичних образів, лише абсолютно несумісних! Зберігається

макрословник, але мікросвіт вимагає своєї граматики. І ця граматика полягає в тому, що несполучним образам і поняттям дозволено **доповнювати** одне одного, Так влаштоване наше знання. Вже не класичне, але й не безпомічне вже перед своєрідністю глибин матерії, доведена до краю біда протиріччя перетворюється в **благо доповнюваності**. Так доповнюють одне одного перервність і неперервність. Несумісні вимірювання швидкостей і координат мікрокентавра. Безпричинність випадку і закономірний розподіл імовірностей. Частинка і хвиля... це і було те всеохопне, чого не вистачало для розуміння науки про мікросвіт і що відкрилося Борові.” /ДДС, с. 58/.

Корисним є оглянутися назад і згадати: ознайомившись із квантовою ідеєю Бора, **Айнштайн** сказав: “Мені все цілком зрозуміле. Але коли це правильне, то воно означає кінець фізики як науки”. Після публікації праці Дірака **Макс Борн** заявив: “Фізика, як ми тепер розуміємо, через півроку буде вичерпана”.

КОНЦЕПЦІЯ СПІНА. Проблема інтерпретації спектрів окремих хімічних елементів посприяла також і в формуванні поняття про **спін** – електрона, але і, невдовзі, іонів. Передусім певну роль у цьому зіграли досліди **О.Штерна** і **В.Герлаха** (1921 р.) – пропускання молекулярного пучка через неоднорідне магнітне поле і неможливість пояснення розщеплення пучка на два. На початку 1925 р. **Паулі** зазначив, щодо дублетної структури спектрів лужних металів: вони виникають “внаслідок типової двозначності квантових властивостей електрона, яку неможливо описати класично”.

У тому ж, 1925 р., **Дж.Уленбек** і **С.Гаудсміт** висловили гіпотезу, за якою “електрон все ж має **власний** момент, що однак має чисто квантову природу. Вони назвали його **спіном** і поклали, що два внутрішні стани електрона – це спінові стани, які характеризуються проєкціями спіна $h/2$ і $-h/2$ на виділену вісь. Внаслідок цього внутрішні стани електрона виявилися близькими до станів циркуляційної поляризації фотона, в яких проєкції його власного моменту рівні h і $-h$. Оскільки власному моменту фотона також неможливо дати класичне пояснення,

його стали звати *спіном фотона*. Подальший розвиток фізики показав, що поняття спіна, значення якого визначається сталою Планка, властиве всім мікрочастинкам. Воно є для них так же фундаментальним, як і поняття маси і заряду, і його слід сприймати як вихідну, внутрішньо притаманну їм якість, не пов'язану з якимсь там “обертанням” навколо осі” /САД, с.50/.

Тож маємо відповідно статистику **Фермі-Дірака** і **Бозе-Айнштайна**, і – відповідно – поняття: **ФЕРМІОНА** і **БОЗОНА**. Є розуміння розподілу електронів на енергетичних рівнях для атомів від водню до урану. Адже одним із найважливіших принципів сучасної теоретичної фізики є **принцип Паулі**: **дві тотожні частинки з півцілими спінами в одиничному фазовому просторі не можуть перебувати в одному стані**.

“Найвиразніше”, мабуть, принцип Паулі виявляє себе в астрофізиці, “забезпечуючи” стійкість білих карликів (як і нейтронних зір) на багато мільярдів років (§ 8).

РІВЕНЬ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК. “Довго здавалося, що в міру переходу до все менших частинок речовини картина зпрощується. І виникла надія, що вдасться збудувати навколишній світ з дуже малої кількості однакових деталей.

Фізики переходили від молекули до атома, від атома до атомного ядра, від ядра до нуклонів та електронів, і поступово їх охоплювало передчуття близького завершення пошуків. Світ зпрощувався і здавалося, ще два-три кроки і будуть відкриті найфундаментальніші закони, які дозволять пояснити і описати всі явища нашого світу. Особливо простим здавалася будова світу в 1932 р. Та всупереч сподіванням простота виявлялася ілюзорною. Світ незрівнянно багатший і складніший. У мікросвіті діють дуже особливі закони, смисл яких ще далеко не збагнений... /СЯА, с.84/.

Живі істоти на Землі мають певні середні розміри, те ж – гори, заглибини в океані. Але тут все ж – є істотні коливання чисел. Електрони і протони – всі **однакові!** Можна покладати, що це визначає певне **поле**, як для Землі – поле тяжіння.

Однак на кожному кроці фізика зустрічає певна проблема. Одна з них – “електромагнітна маса”, оскільки вже з побудовою теорії Максвелла постало питання про взаємодію електромагнітного поля з речовиною. Далі цитуємо Р.Файнмана : “Найцікавішим є те, що класична теорія електромагнетизму незадовільна сама по собі... Труднощі полягають у застосуванні положення поняття ел.-м. імпульса і енергії до електрона чи іншої зарядженої частинки... Так, якщо обчислюємо енергію ел.-м. поля навколо заряду ..., маємо $U_{el} = \frac{1}{2} \frac{e^2}{a}$. І як тільки переходимо до точкового заряду, покладаючи $a = 0$, знаходимо, що кількість енергії, яка оточує точковий заряд, рівна безконечності... Головне питання – чи є тут якийсь спостережувальний ефект? Можна спробувати розглянути рух заряду. Можна знайти імпульс ел.-м поля, він рівний $\vec{p} = \frac{2}{3} \frac{e^2}{ac^2}$.

$V \leq c$. Коефіцієнт пропорціональності можна назвати ел.-м. масою: $m_{em} = \frac{2}{3} \frac{e^2}{ac^2}$.

Виникає питання: з якою ж силою електрон діє сам на себе? Адже якщо маємо справу із зарядженою сферою, то оскільки електричні сили взаємно відштовхуються, електрон має саморуйнуватися. Що утримує від розриву? На думку **Пуанкаре**, мають бути зрівноважуючі сили “напруження Пуанкаре”. А тоді маса – з двох частин! І все стає надто складним. То – що відбувається з e^- ? Чи він осцилює? Які його внутрішні властивості?... *У природі спостерігаємо багато дивних речей, яким ще не можемо надати жодного смислу...* Розгляд ситуації в рамках квантової електродинаміки дещо змінює акценти. Однак обрізування інтегрування і тут необхідне. Ми не знаємо, як з урахуванням кв. мех. побудувати самоузгоджену теорію, яка б не давала безконечної власної енергії електрона... Немає задовільної теорії яка описувала б неточковий заряд. Проблема залишається невирішеною... Експериментально доведено існування ел.-м. інерції, що частина маси заряджених частинок ел.-м. за походженням. Але!

Природа подарувала об'єкти, які можна порівнювати. Нейтрон і протон: відносно ядерних (дуже сильних!) сил вони в точності однакові. А відносно слабких вони як день і ніч. Різниця мас є 1,3 МеВ. Одна біда: не той знак різниці! Нейтрон важчий! З іншого

боку нейтральний піон – на 4,6 МеВ легший, у К-мезонів знову навпаки – на 3,9 МеВ. У сігма-гіперонів для заряду “плюс 1” маса зарядженої частинки на 2,9 МеВ менша, для заряду “мінус 1” на 4,9 МеВ більша за масу нейтральної частинки. Отже доводиться говорити, що, скажімо, хоча нейтрон у цілому заряду не має, то все ж у нього є внутрішній розподіл заряду, це *сумарний* = 0! Очевидно, нейтрон оточений хмарою пі-мінус мезонів!

Є однак ще мю-мезон. Дехто думає, що він і електрон – це одна частинка. У майбутній теорії мас їх маси будуть визначатися коренями квадратного рівняння. Один дасть масу електрона, другий моона”.

КОНЦЕПЦІЯ: ВЗАЄМОДІЯ – ЦЕ ОБМІН КВАНТАМИ ПРОМІЖНОГО ПОЛЯ. У першій половині ХХ ст. було з'ясовано, що ідеї симетрії (§ 7) у мікросвіті приводять до важливих висновків. Як ось, П.Дірак виявив, що в природі повинні існувати і позитрони, а в загальному – античастинки. В.Гайзенберг писав: “При цьому істотним було зовсім не відкриття ще одної, до того невідомої частинки..., *істотним було відкриття нової симетрії, спряженості частинок-античастинок... а також перетворення кінетичної енергії частинок при зударенні в масу спокою частинок і навпаки*”.

А ось слова Ахундова М.Д. та Баженова Л.Б. : “Той факт, що частинки можуть народжуватися парами, поклав кінець демокрітовому поглядові на “атом” як на якусь незмінну одиницю, і елементарна частинка постала як складна динамічна система, оскільки, за Гайзенбергом, вона може бути цією частинкою плюс пара або сама плюс дві пари і т.д. І так раптово цілковито змінилося уявлення про елементарну частинку.

Не менш важливу роль у розвитку фізики мікросвіту відіграли уявлення про подібність механізмів фізичних взаємодій елементарних частинок. Зразком стала квантова електродинаміка, де було з'ясовано, що взаємодія електричних зарядів здійснюється обміном фотонів. За цим рецептом розробляли теорії інших типів взаємодій, що потребувало введення в фізику мікросвіту нових обмінних елементарних частинок, як ось, Х.Юкава у 1935 р. висунув ідею, за якою взаємодія протонів і нейтронів у ядрі обумовлена обміном мезонами...” Отже – *є різні взаємодії, в яких беруть участь різні елементарні частинки, і вони обмінюються різними проміжними частинками – носіями відповідних взаємодій. І – теорії різних взаємодій можуть бути збудовані за єдиним зразком.*

“Таким зразком стала квантопольова теорія електромагнітних взаємодій – квантова електродинаміка, яка зплела СТВ з КвМ. Завдяки цьому було відкрито новий континент у мікросвіті: з *позитроном Дірака у фізику ввійшло уявлення про багаточисельну сім'ю античастинок.* Та виявилось, що для побудови КвЕлДинаміки недостатньо звичайної КвМ, бо вона не дає опису анігіляційних процесів, взаємоперетворення ел.-м. поля і ел.-позитронних пар. для опису цих процесів запропоновано *метод вторинного квантування:* квантування хвильової функції, яка вже фігурує у звичній КвМ. Так вона перетворювалася в оператор породження і знищення e^- та e^+ .

Це дало змогу розвинути КвЕлД, в якій: 1) взаємодія реалізується завдяки породженню і поглинанню проміжних квантів поля (*фотон*) – носія взаємодії, якою є ел.-м. поле. 2) КвЕлД є локальною теорією, тобто взаємодія (народження і поглинання) відбувається у точці простору-часу. Тут фігурують точкові частинки, які взаємодіють у точці простору-часу. 3) КвЕлД є перенормовуваною теорією”. Тобто у ній здійснюється об'єднання “польової” і “непольової” маси і використання для сумарної маси значення, яке отримують зі спостережень. Перенормування заряду здійснюється з урахуванням *поляризації вакууму*, процесів появи віртуальних

фотонів та віртуальних електрон-позитронних пар. Вплив фізичного вакуума на частинки доведено експериментально в 1947 р. **У.Лембом** і **Р.Різерфордом** – “лембівське зміщення рівня”. В атомі водню два стани – $2S_{1/2}$ та $2P_{1/2}$ за КВМ мають однакову енергію. Однак у першому випадку електрон більше часу перебуває ближче до ядра, отже в сильнішому полі. Взаємодія з вакуумом (випускання і поглинання віртуальних фотонів) наче розгойдує, трясє електрон. Замість стійкого перебування на енергетичному рівні він відхиляється то в один, то в другий бік, що змінює величину його потенціальної енергії. А цей ефект сильніший там, де ця ПЕ більша, тобто для S-електрона. Т.ч. для S-електронів вакуумні добавки до енергії (т.зв. радіаційні поправки) більші, ніж для P-електронів. Тож рівні “розсуваються” і величина розчеплення в одиницях частоти 1057,9 МГц. Ще один ефект – народження пар Ч-аЧ в дуже сильних ел.-м. полях і гравітаційних полях, що важливе, зокрема, на ранніх стадіях еволюції Всесвіту і поблизу чорних дір.

ТИПИ ВЗАЄМОДІЙ. *Структурна організація матерії, набуття її окремими складовими частинами тих чи інших властивостей – тої чи іншої якості, певної форми зумовлене наявністю у природі декількох типів взаємодій: електромагнітної, слабкої, сильної і гравітаційної.*

1. Завдяки **електромагнітній взаємодії** (поглинання і перевипромінювання квантів світла), яка проявляється між позитивно (додатньо) зарядженими ядрами атомів (іонами) і негативно зарядженими електронами, існують атоми, стає можливим їх утримування в молекулах, а саме ними визначаються агрегатні властивості речовини (бути їй у твердому, рідкому чи газоподібному стані), хімічні перетворення, електричні, магнітні та оптичні явища в тілах. Поглинання і перевипромінювання квантів у надрах зір істотно впливає на їхню будову, розподіл густини, температури і тиску від поверхні зорі до її центра тощо.

2. Завдяки **слабкій взаємодії** є можливими перетворення протонів у нейтрони і навпаки, а, як їх наслідок, – утворення ядер гелію та всіх інших хімічних елементів з найпростіших складових частин – з протонів та нейтронів. Без цього не було б важких хімічних елементів, а отже, речовини, з якої складається Земля, не було б і життя на ній.

3. **Сильна взаємодія** “цементує” протони і нейтрони в атомних ядрах, утримуючи ці ядра як окремі структурні одиниці. Без неї саме не було б згаданого вище розмаїття форм неорганічної речовини і життя.

4. **Гравітаційна взаємодія** об’єднує в єдине ціле масу кожного з небесних тіл, зокрема надаючи їй сферичну форму. Завдяки їй Місяць утримується поблизу Землі, Земля та інші планети – біля Сонця, Сонце з близько 150 млрд. зір – у нашій Галактиці.

Якщо порівняти перші три взаємодії за величиною, то сильна взаємодія приблизно у 100 разів перевищує електромагнітну і в 10^{14} слабку.

Повторимо: **кожна із цих взаємодій є наслідком існування в природі чотирьох класів елементарних частинок: адронів** (баріони і мезони), які беруть участь у всіх типах взаємодій, **лептонів**, які “не причетні” лише в сильних взаємодіях (серед них – три нейтрино), **фотонів** – учасників лише ел.-м. взаємодії, **гравітонів** – носіїв гравітаційної взаємодії. Кожна група частинок описується своїми специфічними законами збереження (§ 7).

Взаємні перетворення частинок, їхнє народження і зникнення як переходи між різними станами описує **квантова теорія поля** /КТП/. Однак вона нічого не говорить про те, /ФМ, с. 103/ “які це частинки, які їхні параметри (маси, заряди і т.п.), як вони взаємодіють. Число типів таких взаємодіючих частинок (інакше, фізичних полів), конкретне значення усіх визначальних їхню поведінку параметрів – все це вноситься в теорію **від початку**.”

ФІЗИКА ЗІР: ТРИ ВИЗНАЧАЛЬНІ АСПЕКТИ.

А. Зорі білі карлики. Передусім привернемо увагу до того, як концепція спіна ЕЧ дозволяє з'ясувати структуру зір білих карликів.

При обговоренні внутрішньої будови Сонця і переважної більшості зір не доводиться сумніватися в тому, що вони складаються з ідеального газу, тиск якого пов'язаний з температурою і густиною співвідношенням Клапейрона. Тут якщо навіть настає повна іонізація речовини, протони та електрони відіграють однакову, рівноправну роль у створенні тиску і підтримуванні рівноваги зорі.

Проте загальні властивості елементарних частинок у речовині зір такі, що зі зростанням густини речовини роль вільних електронів у визначенні структури зорі все зростає. При цьому також їхній розподіл за швидкостями все більше відхиляється від максвеллівського. Виявляється, що чим більша густина, тим більше деформується крива розподілу, яка врешті-решт перетворюється у прямокутник. А це означає, що кількість електронів, які мають довільну швидкість від 0 до v_{\max} , при деяких значеннях густини і температури буде однаковою. Такий стан речовини називається *виродженням*. Пояснення цьому явищу знаходимо в рамках квантової механіки. Специфічною особливістю виродженого газу, який складається з частинок з дробовим спіном – електронів, протонів і нейтронів, є те, що він підлягає принципу заборони Паулі, за яким в одному стані не може перебувати більше двох частинок, причому їхні спіни є протилежними. При зростанні густини з'являється сила відштовхування, зумовлена принципом Паулі, вона і підтримує рівновагу зорі. Якщо при цьому найбільша швидкість $v_{\max} < c$, то виродження називається *нерелятивістським*, при $v_{\max} \approx c$ – *релятивістським*. У першому випадку тиск пов'язаний з густиною за законом $p \sim \rho^{5/3}$, у другому – $p \sim \rho^{4/3}$.

Отже, будова білого карлика залежить від тиску виродженого електронного газу. Енергія з його надр до поверхні переноситься теплопровідністю, яка в інших зір практично ніякої ролі не грає. Завдяки великій прозорості температура

невироджених іонів усередині білого карлика протягом приблизно $0,98 R$ має практично одне значення – близько $10 \cdot 10^6 \text{K}$. Ззовні білий карлик оточений тонкою оболонкою, в якій при наближенні до поверхні температура різко зменшується до значень близько $10\,000 \text{K}$.

З обчислень також випливає, що модель білого карлика, який складається з нерелятивістськи виродженого газу, описується політропою індексу 1,5. Це відповідає малій концентрації речовини до центра, однак реалізується, якщо маса зорі не перевищує $0,6 M_{\odot}$. При більших масах газ релятивістськи вироджений, а структуру зорі описує політропа $n=3$. У цьому випадку виявляється, що маса не може бути більшою від $1,2 M_{\odot}$ – це **межа Чандрасекара**. При більших M тиск виродженого газу не в стані утримати зорю в рівновазі. Отже, масивніша зоря може стати білим карликом лише у випадку, якщо вона позбудеться надлишку своєї маси.

При масі $M=1 M_{\odot}$ радіус білого карлика $R=0,007 R_{\odot}$, тобто 5000 км . Розрахунок показує, що завдяки охолодженню невиродженого іонного газу білий карлик може випромінювати значну енергію протягом 1 млрд. років .

Як сказано, якщо маса зорі перевищує $1,2 M_{\odot}$, то її рівновага за рахунок тиску виродженого електронного газу не може бути підтримувана. Зоря стискається при цьому відбувається нейтронізація речовини за схемою $p+e \rightarrow n+\nu$. Як впливає з теорії, тиск тепер уже нейтронного газу може відновити рівновагу зорі, якщо її маса не перевищує $3 M_{\odot}$. Радіус такої нейтронної зорі

$$R \approx 12 \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right) \text{ км.}$$

Загалом маса нейтронної зорі не може бути більша від $M_{\odot} 3$ і менша від $0,1 M_{\odot}$. Густина в центрі нейтронної зорі 10^{14} г/см^3 . Температура в її надрах досягає сотень мільйонів кельвінів. На поверхні ж речовина такої зорі має властивості твердого тіла. Уважають, що нейтронна зоря оточена твердою корою, товщина якої становить декілька сотень метрів.

Б. Термоядерні реакції в надрах зір. Проблема джерел ситуації зір залишалася нез'ясованою, доки не було встановлено наявність 1) ефекту упаковки і 2) тунельного ефекту.

Існування нейтронних зір передбачили теоретично у 30-х роках. Підтвердилося ж воно у 1967 р., коли відкрили пульсари, що є намагніченими нейтронними зорями, які дуже швидко обертаються навколо своїх осей.

Тунельний ефект (тунелювання), подолання мікрочастинкою потенціального бар'єра у випадку, коли її повна енергія (що залишається при Т. е. здебільшого незмінною) менша від висоти бар'єра. Т. е. – явище істотно квантової природи, неможливе в класичній механіці; аналогом Т. е. у хвильовій оптиці може служити проникнення світлової хвилі усередину середовища, що відбиває (на відстані порядку довжини світлової хвилі) в умовах, коли з погляду геометричної оптики відбувається повне внутрішнє відбивання.

Тунельний ефект інтерпретується на основі співвідношення невизначеностей. Класична частинка не може перебувати усередині потенціального бар'єра висоти U , якщо її енергія $E < U$, тому що кінетична енергія частинки $p^2/p_m = E - U$ стає при цьому від'ємною, а її імпульс p – уявною величиною. Однак для мікрочастинки цей висновок несправедливий: унаслідок співвідношення невизначеностей фіксація частинки в просторовій ділянці усередині бар'єра робить невизначеним її імпульс. Тому є відмінна від нуля імовірність знайти мікрочастинку всередині забороненої з погляду класичної механіки зони. Відповідно з'являється певна імовірність проходження частинки крізь потенціальний бар'єр, що і відповідає Т. е. Ця імовірність тим більша, чим менше маса частинки, через потенціальний бар'єр і чим менше енергії бракує частинці, щоб досягти висоти бар'єра (чим менше різниця $U - E$). Імовірність проходження через бар'єр – головний фактор, що визначає фізичні характеристики Т. е. У випадку одномірного потенціального бар'єра такою характеристикою є коефіцієнт прозорості бар'єра, що дорівнює відношенню потоку частинок, що пройшли крізь нього, до падаючого на бар'єр

поток. У випадку тривимірного бар'єра, що обмежує замкнуту ділянку простору з пониженою потенціальною енергією (потенціальну яму), т. е. характеризується імовірністю w виходу частинки з цієї зони за одиницю часу; величина w дорівнює добутку частоти коливань частинки всередині потенціальної ями на імовірність проходження крізь бар'єр. Можливість "просочування" назовні частинки, що спочатку перебувала в потенціальній ямі, приводить до того, що відповідні рівні енергії частинки мають кінцеву ширину порядку hw , а самі ці стани стають квазістаціонарними.

Проходження частинки через потенційний бар'єр кінцевої ширини описується так. Нехай U має вид, представлений на рис. 1.

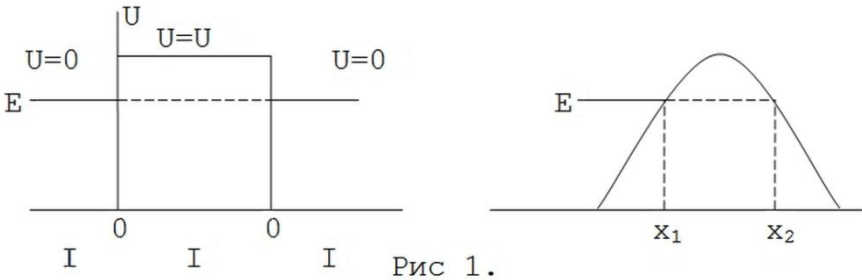


Рис 1.

Тоді, записавши рівняння для I, II й III зон, можна знайти розв'язок у виді плоских хвиль. З умови безперервності впливають співвідношення між коефіцієнтами. Аналіз показує, що:

а) при $E > U$ буде спостерігатися відбивання (у класичній фізиці частинка проходить вільно);

б) при $E < U$ існує імовірність, що частинка пройде крізь бар'єр. Коефіцієнт прозорості бар'єра визначається величиною

$$D \approx D_0 e^{-\frac{2}{\hbar} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{2m(U-E)} dx} \quad (D_0 \approx 1).$$

Якщо бар'єр має довільну форму, то прозорість бар'єра визначається співвідношенням

$$D = D_0 e^{-\frac{2}{\hbar} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{2m[U(x)-E]} dx}.$$

Перехід із зони I в III відбувається через II, де повна енергія E менша від потенціальної, що з погляду класичної фізики неможливе, бо це означає, що кінетична енергія від'ємна і швидкість уявна. Але водночас частинка і не “піднімається” над потенціальним бар'єром, оскільки це суперечить закону збереження енергії. Частинка і проходить крізь бар'єр “тунельним” переходом.

Дещо повторюючись, конкретизуємо тут сказане.

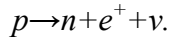
Протони і нейтрони утримуються в атомних ядрах могутніми силами притягання, що ефективні лише на відстанях, менших 10^{-12} см. І щоб зблизити два протони на цю відстань, необхідно затратити величезну енергію на подолання сил кулонівського відштовхування. Можна уявити собі, що протон захищений від взаємодії з іншим протоном електричним потенціальним бар'єром висотою 140 кеВ. Чим менше енергія частинки, що налітає, тим “легше” вона буде відкинута назад кулонівською силою відштовхування.

При температурі 10 млн. градусів, типової для зоряних надр, середня теплова енергія протона складає усього близько 1 кеВ, а сумарна енергія двох протонів, що зіштовхуються, відповідно вдвічі більша. Іншими словами, потенціальний бар'єр у сто разів перевищує середню енергію частинок.

Здавалося б, що в такому випадку термоядерні реакції в зорях при температурі менше 10^9 К узагалі відбуватися не можуть. Адже за законами класичної механіки, якщо енергія частинки менша від висоти потенціального бар'єра, то вона просто не проходить через нього.

Однак у відповідності із законами квантової механіки завжди є певна імовірність того, що частинка пройде через потенціальний бар'єр, навіть якщо її енергія менша висоти цього бар'єра. Саме завдяки тунельному ефекту і відбуваються термоядерні реакції в надрах Сонця і зір. У цілому, щоб термоядерна реакція мала місце, повинне відбутися такі послідовні події: 1) *зіткнення двох частинок*, 2) *проникнення однієї з них через потенціальний бар'єр, що оточує ядро іншої*

частинки, і 3) ядерна взаємодія, що супроводжується бета-розпадом:



При заданій температурі та ізотопному складі газу кожна з цих подій відбувається з цілком визначеною імовірністю, для розрахунку якої у ядерній фізиці є досить надійні “рецепти”. Це дозволяє одержати вирази для визначення повного числа реакцій, які відбуваються в одиниці об’єму за одиницю часу і кількості звільненої при цьому енергії.

Зокрема, при умовах, типових для надр Сонця, внаслідок протон-протонного (pp) і вуглецево-азотного (CN) циклу виділяється енергія

$$\varepsilon_{pp} \approx 10^{-12} \rho X^2 \left(\frac{T}{10^6}\right)^4 \text{ Дж/г}\cdot\text{сек.}$$

$$E_{CN} \approx 6,6 \cdot 10^{-30} \rho X X_{CN} \left(\frac{T}{10^6}\right)^{20} \text{ Дж/г}\cdot\text{сек.}$$

Тут X і X_{CN} – відповідно відносний вміст протонів і сума вмістів вуглецю й азоту в надрах зорі. Для Сонця перший цикл значно ефективніший. Так, при температурі $T=14 \cdot 10^6$ К, щільності $\rho=100$ г/см³, вмісті водню $X=0,7$, а вуглецю й азоту $X_{CN}=0,003$ маємо $\varepsilon_{pp} \approx 19 \cdot 10^{-7}$ Дж/г·сек, а $\varepsilon_{CN} \approx 10^{-7}$ Дж/г·сек. Розрахунок показує, що для забезпечення світності Сонця, досить, щоб виділення енергії відбувалося лише в одній десятій частині його маси.

У надрах більш масивних зір температури значно вищі, тому там домінує реакція CN-циклу.

Однак, при температурах, типових для надр Сонця, перша реакція pp-циклу протікає дуже повільно. Адже два протони не утворюють зв’язаної системи (тому в природі немає ізотопу ²He). Проте перша з реакцій відбувається все-таки тому, що за час зіткнення один із протонів перетворюється в нейтрон з випромінюванням позитрона і нейтрино. І тому що ефективний переріз цієї реакції дуже мало, то і характерний час для неї дуже великий. При T порядку 14 млн. Кельвінів і ρ близько 100 г/см³ час, за який число протонів у заданій одиниці об’єму зменшиться вдвічі, дорівнює приблизно 10 млрд. років. Усі

наступні реакції протон-протонного циклу протікають значно швидше: дейтерій перетворюється в ізотоп гелію ${}^3\text{He}$ усього за 5 секунд, утворення ізотопу ${}^4\text{He}$ з двох ядер ${}^3\text{He}$ відбувається за мільйони років.

В. Концепція гравітаційного самозамикання: чорні діри. У 1930 р. **С. Чандрасекар**, досліджуючи структуру зір білих карликів як конфігурацій, рівновагу яких забезпечує тиск виродженого електронного газу (роль цього газу у встановленні рівноваги зорі довів **Р. Фаулер** у 1926 р.), наявність верхньої межі маси повністю виродженої конфігурації $T \approx 1,14T_{\odot}$. Згодом цю межу було понижено до $1,2T_{\odot}$, як також названо *межею Чандрасекара* (за цикл досліджень структури зір С. Чандрасекар разом із У. Фаулером 1983р. отримав Нобелівську премію з фізики). Зразу ж, у 1932 р., Лев Ландау (1908-1968, СРСР) після відкриття того ж року нейтрона пояснив цей факт і навів аналогічні докази щодо існування нейтронних зір. Тоді ж Л. Ландау визнав, що для зір, маса яких перевищує вказану, “у всій квантовій теорії не існує

причини, яка могла б відвернути колапс системи в точку”. Щоправда, далі він заявив таке: “Оскільки насправді такі маси мирно існують у вигляді (нормальних) зір і зовсім не проявляють таких абсурдних тенденцій, доводиться зробити висновок, що всі зорі, важчі від $1,5T_{\odot}$, мають зону, в якій порушуються закони квантової механіки (і тим самим квантової статистики)”.

Наявність межі Чандрасекара привела **А.Еддінгтона** (1935р.) до висновку, що масивні зорі в процесі своєї еволюції неминуче мали б стискатися за сферу Шварцшильда, для якої радіус $R_g = 2GT/c^2$ і на “поверхні” якої сила тяжіння $F = \infty$. Інакше кажучи, кінцевим результатом еволюції такої зорі мала б ставати **чорна діра**. А. Еддінгтон писав: “Зоря, очевидно, повинна дуже довго випромінювати і стискуватися, доки не досягне радіуса в декілька кілометрів, при якому тяжіння стане достатньо сильним, щоб втримати випромінювання, і зоря зможе, нарешті, набути спокій”. Щоправда, він же додав: “Я

дійшов висновку, що це майже доведення до абсурду формули релятивістського виродження. Різноманітні фактори можуть зіграти свою роль, спасаючи зорю. ...Я допускаю, що повинні існувати закони природи, які роблять неможливою таку абсурдну поведінку зорі”.

У 1939 р. **А. Ейнштейн** в одній із статей доводив, що речовина не може стиснутися всередину сфери Шварцшильда. Однак у тому ж році **Роберт Оппенгеймер** (1904 – 1967, США) разом зі своїми співробітниками довів протилежне: можливість *релятивістського колапсу*, тобто катастрофічного і необмеженого руху речовини до центра зорі.

Ідею чорної діри висловив у 1776 р. учень **Г. Кавендіша** (Англія) **Мічел**, виходячи з міркувань, що швидкість світла, яке звершує роботу в полі тяжіння зорі, повинна зменшуватися і цей ефект мав би давати можливість визначати масу зорі. Згодом, у 1795 р., **П.Лаплас** писав: “...зоря з густиною, рівною густині Землі, і діаметром в 250 разів більшим за діаметр Сонця, не дає жодному світловому променеві досягнути нас завдяки своєму тяжінню, а тому не виключено, що найяскравіші тіла у Всесвіті з тої причини є невидимими”. Саме ж слово “чорна діра” вперше вжив у 1968 р. **Джон Уїлер** (США).

Г. Поняття про чорні діри. Можливість існування *чорних дір* впливає з загальної теорії відносності. З іншого боку, теорія еволюції зір діє змогу зробити висновок, що чорні діри є наслідком, зокрема, еволюції тих зір, маса яких у десять і більше разів перевищує сонячну.

У загальній теорії відносності нема поняття сили. Проте, якщо її ідеї перевести на мову класичної механіки, то для закону всесвітнього тяжіння отримуємо вираз

$$F = \frac{GMm}{r^2 \sqrt{1 - R_G / r}} \quad (1)$$

де

$$R_G = \frac{2GM}{c^2} - \quad (2)$$

гравітаційний радіус тіла, або радіус сфери Шварцшильда;
M – маса силового центра; m – маса пробної частинки.

Як бачимо, у класичній механіці сила гравітаційної взаємодії двох тіл $F \rightarrow \infty$, якщо відстань між ними $r \rightarrow 0$. З урахуванням ефектів загальної теорії відносності $F \rightarrow \infty$ при $r \rightarrow R_G$. Отже, чорна діра – це об’єкт, на “поверхні” якого сила тяжіння має нескінченно велике значення. Тому ніяка частинка, жоден квант випромінювання не може вирватися назовні з цього об’єкта. Єдине, що може вказати на їхнє існування, – це світіння речовини при її падінні в напрямі до чорної діри.

З формули (2) випливає, що при $M = 1M_{\oplus} R_G = 3 \text{ км}$, в усіх інших випадках

$$R_G = 3(M / M_{\oplus}) \text{ км}.$$

Теоретичні оцінки показують, що кількість чорних дір у Галактиці може досягати сотень мільйонів. Проте виявити цей об’єкт можна лише у випадку, коли він є компонентом подвійної системи.

7. Концепції симетрії – в природі і в теоретичному відображенні

ТИПИ СИМЕТРІЇ ПРИРОДНИХ ФОРМ. В природі симетрія як вияв певної упорядкованості трапляється на кожному кроці. У метелика не лише крильця розташовані симетрично відносно його поздовжньої осі, а навіть узор на них. Те ж скажемо про жучка, про листок, скажемо дуба чи клена. Таку симетрію названо **білатеральною** (з латинського – “двічі боковою”). Аналогічно знаходимо вияви симетрії в тривимірних фігур.

“Для точної характеристики цих закономірностей користуються допоміжними геометричними образами – особливими *площинами, прямими і точками* відносно яких певним правильним чином повторюється рівні частини симетричних фігур. Такі допоміжні образи названо “**елементами симетрії**”.

Передусім *площиною симетрії* названо таку площину, яка ділить (наче розсікає, розрізує) фігуру на дві дзеркально рівні частини, розташовані одна відносно одної так, як предмет і його дзеркальне відображення. *Цей елемент симетрії позначають P , площину симетрії – m .*

Двобічне відображення фігури в площині симетрії названо “операцією симетрії”. Тут – повороти фігур навколо певних прямих (осей), і відображення в особливих точках тощо. Вимога: після здійснення операції відображена або повернута фігура повинна зайняти у просторі таке ж положення, яке вона займала до цих операцій, хоча на місце одних її точок прийдуть інші – фігура *самосуміщається*.

У квадрата – чотири площини симетрії – $4P$, в прямокутника – $2P$, сніжинки – $6P$, в куба – $9P$.

Другий тип елементів симетрії – *осі симетрії*. Це така пряма лінія навколо якої декілька разів повторюються рівні частини симетричної фігури. Після повороту навколо осі на деякий кут фігура займає у просторі таке ж положення (самосуміщається). Число самосуміщень при її повороті навколо осі на 360° зветься “порядком осі”. Строго доведено, що порядок осі може бути лише

цілим числом. Вісь симетрії позначають літерою L , а її порядок – маленькою цифрою, проставленою після літери: L_n – вісь симетрії n -го порядку. Так, через центр рівностороннього трикутника перпендикулярно до площини рисунка проходить вісь L_3 . Тіла обертання мають вісь симетрії безконечного порядку – L_∞ .

Центр симетрії (позначення – C) особлива точка всередині фігури, визначальна тим, що будь-яка проведена через цю точку пряма по обидва боки від неї і на однакових відстанях зустрічає однакові (відповідні) точки фігури. Паралелограм, паралелепіпед центр симетрії мають, конус – ні.

Отже, в цілому повна сукупність елементів симетрії сніжинки – L_66P , для куба $3L_44L_36L_29PC$. Як куб, ведуть себе інші багатогранники, до них належать і знамениті **тіла Платона**, грані яких – правильні багатогранники. Це п'ять фігур: **тетраедр** (чотиригранник), **куб** (шестигранник), **октаедр** (восьмигранник), **додекаедр** (дванадцятигранник) та **ікосаедр** (двадцятигранник). Платон вважав їх уособленням природних стихій: тетр. – вогню, куб – землі, окт. – повітря, ікос. – води, додек. – образ усього світу.

Стовбури дерев та ін. дають зразки “устремління” до форми циліндра. Тому розглядається також т.зв. **безконечна симетрія**, тут є три типи специфічних, властивих лише їй елементів, Є **зсув** (або перенос) фігури паралельно самій собі. Елемент симетрії, що відповідає цій операції, зветься **трансляцією**. Трансляція зображається стрілкою, яка вказує напрям і крок зміщення, і позначається літерою T . Модель – низка намиста. Другим елементом безконечної симетрії є **площина ковзного відображення**. Тут – сукупність площини симетрії і паралельного до неї зміщення, які діють сумісно. Це – притаманне лише безконечним фігурам.

Характеристика правильних многогранників (тіл Платона)

Багато-гранник	Число			Форма граней	Симетрія
	граней G	вершин V	ребер P		
Тетраєдр	4	4	6	Правильні трикутники	$4L_33L_2(3L_4)6P$
Куб	6	8	12	Квадрати	$3L_44L_36L_29PC$
Октаєдр	8	6	12	Правильні трикутники	$3L_44L_36L_29PC$
Додекаєдр	12	20	30	Правильні п'ятикутники	$6L_510L_315L_215PC$
Ікосаєдр	20	12	30	Правильні трикутники	$6L_510L_315L_215PC$

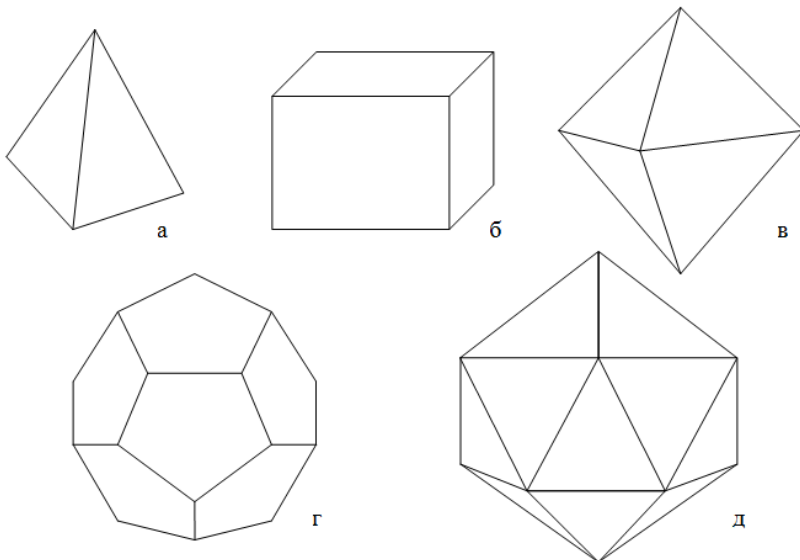
Примітка. Число граней G , вершин V і ребер P многогранника пов'язані **формулою Ейлера**: $G+V=P+2$. Осі симетрії правильного додекаєдра та ікосаєдра є на футбольному м'ячі, поверхня якого складається з дванадцяти сегментів, що відповідають дванадцяти граням додекаєдра.

Типовим мереживом з площиною ковзного відображення – вітки на деревах листки на стеблах тощо.

Третій тип елементів безконечної симетрії – **гвинтова вісь**. Тут – сукупність осі симетрії і трансляції, що діють сумісно. Точки фігури, обертаючись, зміщуються по гвинтових лініях. Також – лише в безконечних фігурах, до речі, гвинтові лінії бувають праві і ліві.

Класичні площинні і прямолінійні елементи – лише частинні випадки **криволінійної симетрії** (гомології). Кристали мають першу, живі організми – другу. Симетрії подібності тут іноді пов'язані з одночасним збільшенням або зменшенням подібних частин фігури, як ось гвинтова лінія, уздовж якої на стовбурі розташовуються вітки, поступово звужується до вершини, а вітки зменшуються.

Тіла Платона: тетраедр (а), куб (б), октаедр (в),
додекаедр (г), ікосаедр (д).



Нарешті, розглядають ще **антисиметрію**: фотографічні негатив і позитив, гравюру і кліше, краплю води в повітрі і бульбашку повітря у воді, у фізиці – електрон і позитрон. Тут говорять про “антиосі”, “антицентри”, за допомогою яких антирівні частини таких фігур переходить одна в одну” /За ШИИ, 20-26/.

ТЕОРІЯ ГРУП. Основоположником теорії груп був французький вчений **Еварист Галуа** (1811 – 1832), смертельно поранений в живіт на дуелі і кинутий напризволяще. Академіки **Пуассон** і **Лакруа** дали негативні відгуки на його праці і Академія відмовилася від їх розгляду. Лише у 1846 р. їх опублікував **Ж.Ліувіль** у своєму журналі.

“Галуа займався “аналізом аналізу” – пошуком загальних співвідношень між коренями будь-яких рівнянь і довів, що вони утворюють **групу** – певну множину, елементи якої пов’язані між собою спеціальними співвідношеннями.

На прикладі прямокутника бачимо: всі перетворення, рухи, які суміщають фігуру саму з собою, тобто перетворення симетрії, утворюють *групу*.

Отже, *група – це сукупність елементів симетрії, яка суміщає фігуру саму з собою*. Як видно, група і в математичному смислі слова підлягає певним умовам” /САС, с.85/. Отже: *групою* зветься сукупність математичних об’єктів, для яких **визначена певна операція, що зветься множенням**. Група визначена, якщо виконуються такі умови: 1) якщо a, b – елементи групи, то добуток $a \times b = c$ – також є елементом групи, 2) $(a \times b) \times c = a \times (b \times c)$, 3) існує одиничний елемент I , так, що завжди $I \times a = a \times I = a$, 4) існує зворотній елемент $a^{-1} : a \times a^{-1} = I$. Кажуть ще інакше: *група – це множина об’єктів, над якими можна здійснити перелічені операції, яка описується певними законами – аксіомами групи*. Вивести з них наслідки означає побудувати аксіоматичну теорію груп.

СИМЕТРІЯ МАТЕМАТИЧНА І ФІЗИЧНА – ПИТАННЯ ІДЕНТИЧНІ. П’єр Кюрі (1859 – 1906) у 1894 р. зазначив: “Я думаю, було б цікаво ввести у вивчення фізичних явищ також і розгляд властивостей симетрії, так знайомих кристалографам”. Річ ясна, і раніше фізики використовували міркування, що впливали з умов симетрії (у механіці, статиці). Однак саме Кюрі вперше дав чітке визначення симетрії фізичних явищ: “Характеристична симетрія певного явища є максимальна симетрія, сумісна з існуванням явища”. Тобто він вважав симетрію фізичних явищ ідентичною із симетрією математичних величин, які описують ці явища. Далі – за А.Соніним: “температура, густина, електричний заряд, теплоємність не залежать від напрямку. Вони скалярні і їх можна зобразити сферами... Напрявлені величини: електричне поле, сила, швидкість, потік тепла, електричний струм – це полярні вектори... Обертальні величини, як магнітне поле, момент сили – аксіальні вектори... При такому підході резонне питання: чи може виникнути це чи інше фізичне явище з точки зору симетрії. Відповідь Кюрі:

“Явище може існувати в середовищі, що має свою характеристичну симетрію...” Однак, “необхідно, щоб певні елементи симетрії були відсутні. Це і є та дисиметрія, що створює явище”.

Це – всезагальний закон великого значення... Термін **дисиметрія** був введений у науку геніальним **Луї Пастером** (1822 – 1895). У початковий період своєї наукової діяльності, який можна з повною підставою вважати кристалографічним. Пастер інтенсивно вивчав зв'язок між здатністю речовини повертати площину поляризації лінійно поляризованого світла (оптичною активністю) і його кристалографічною формою. У результаті він побудував для себе класифікацію кристалів, що відображає здатність до оптичної активності. До першого типу він відніс кристали, що мають площину дзеркального відображення. Такі кристали не мають оптичної активності. Вони, за Пастером, симетричні. Кристали другого типу не мають площин симетрії й оптично активні. Ці кристали Пастер назвав **дисиметричними** – несиметричними (“дис” – заперечення). Таким чином, дисиметрія Пастера – це відсутність деяких елементів симетрії – площини симетрії (тепер ми додамо – поворотних і дзеркальних осей), що приводять до можливості появи в кристалах однієї фізичної властивості – оптичної активності.

П'єр Кюрі розумів дисиметрію ширше – як сукупність усіх відсутніх у матеріальній фігурі елементів симетрії. Він увесь час підкреслював важливе розходження між симетрією як сукупністю всіх наявних елементів симетрії і дисиметрією як сукупністю усіх відсутніх елементів симетрії.

Присутні в матеріальній фігурі елементи симетрії фіксують те, що вже є зараз. Вони як би обмежують свободу змін чи перетворень матеріальної фігури. **Відсутні елементи симетрії** тільки ще можуть

бути, можуть виникнути внаслідок яких-небудь змін, і тому вони **визначають і допускають усякий розвиток**. Ці елементи симетрії більш важливі для вивчення фізичних явищ, ніж наявні.

Симетрія і її протилежність – дисиметрія є єдиним цілим у вивченні матеріального світу. Це підкреслював **А.В.Шубников**: “Якого би трактування симетрії ми не дотримувалися, одне залишається обов’язковим: не можна розглядати симетрію без її антипода – дисиметрії. **У симетрії відображається та сторона явищ, що відповідає спокою, а в дисиметрії – та, яка відповідає руху.** Єдине поняття симетрії-дисиметрії – невичерпне.

Класична механіка, завершена працями Лагранжа, Гамільтона і Пуанкаре, описує рух тіл за допомогою диференціальних рівнянь, куди входять координати тіла, час і сили, що діють на нього. Найбільш простий вид ці рівняння здобувають у так званих інерціальних системах координат (інерціальних просторах). *Математично перетворення координат і часу, що відповідають змінам у просторі і в часі, утворюють групу.* Цю групу часто називають групою *Галілея-Ньютона*. Тому говорять, що **рівняння руху** класичної механіки **інваріантні** (не змінюють своєї форми) щодо групи Галілея-Ньютона.

Таким чином, у класичній механіці симетрія втратила наочний геометричний зміст. Тепер вона виступає в абстрактній формі як умова, за якої рівняння, що описує той чи інший фізичний закон, не змінює свого виразу. При цьому самі умови повинні утворювати групу в математичному сенсі.

Рівняння, що описують рух тіл у спеціальній теорії відносності, не змінюють свого вигляду щодо *групи Пуанкаре*. У цьому виявляється властивість симетрії простору-часу.

Розуміння властивостей симетрії законів класичної і релятивістської механіки вплинуло на подальший розвиток фізики, тому що симетрія тісно пов’язана із фундаментальними законами збереження.

СИМЕТРІЯ І КЛАСИЧНІ ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ.

Основні закони збереження були зформульовані в рамках класичної механіки в XVII – першій половині XVIII століття.

Причому в цей період закони нівідки не виводили, а, як і в часи античності, вважали основними постулатами, чи принципами.

Із законів збереження нас передусім цікавитимуть три: збереження енергії, імпульсу і моменту імпульсу.

Першим, хто строго й у самій загальній формі встановив зв'язок основних законів збереження з просторово-часовою симетрією, характерною для класичної механіки, був французький математик і механік **Жозеф Лагранж** (1736 – 1813).

В основі лагранжового висновку законів збереження лежить так звана “загальна формула динаміки” – рівняння, що описує сумарну дію всіх сил у системі тіл. “Одна з переваг, – писав Лагранж, – яка виходить при використанні цієї формули, полягає в тім, що вона безпосередньо приводить до загальних рівнянь, у яких містяться принципи теореми, відомі за назвою **принципів збереження** живих сил, збереження руху центра ваги, збереження моментів обертання”.

Висновок **закону збереження імпульсу** виробляється в такий спосіб. До координат тіл системи додаються довільні збільшення, тобто постулюється можливість переносу тіл у просторі. З погляду симетрії це констатація **однорідності** простору: будь-які точки простору однакові.

Підставивши зміни координат у “загальну формулу динаміки” і про інтегрувавши її, одержимо, що проекції імпульсу на осі координат є константами. Це і є закон збереження імпульсу: при зміні положення тіл у просторі під час відсутності зовнішніх сил імпульс тіла не міняється.

Аналогічно виводиться **закон збереження моменту імпульсу**. Записують зміни координат тіл системи, що мають довільні обертання, і підставляють у загальну формулу. Інтегрування за часом при відсутності зовнішніх сил дає сталі значення моменту імпульсу. Таким чином, цей закон збереження є наслідком **ізотропності** простору.

Закон збереження енергії Лагранж одержав з умови, відповідно до якої розташування різних тіл системи не залежить від часу. Тим самим постулюється **однорідність** часу,

незалежність протікання фізичних процесів стосовно переносів у часі.

Таким чином, властивості симетрії простору-часу приводять до того, що закони збереження “варто розглядати скоріше як загальні висновки із законів динаміки, ніж як первісні принципи цієї науки” (Лагранж). Якщо ж розглядати роботи Лагранжа з погляду симетрії, то вони встановили прямий зв’язок законів збереження із симетрією простору-часу, описуваною групою Галілея-Ньютона.

Відродження інтересу до симетрії і її зв’язку із законами збереження відбулося в першу чверть XIX століття в зв’язку зі створенням спеціальної і загальної теорії відносності. Вже в 1911 році відомий німецький математик і механік **Герглоц** показав, що й у спеціальній теорії відносності основні закони збереження також визначаються симетрією простору-часу, але вже описуваною групою Пуанкаре, що включає перетворення Лоренца.

У випадку ж загальної теорії відносності усе виявилось набагато складніше. У її основі лежало нове уявлення про простір – тепер він не був евклідовим. Простір загальної теорії відносності має змінну кривину, що залежить від присутності тих чи інших мас. Тому група, що описує властивості симетрії такого простору-часу, виявилася нескінченною: вона складається із нескінченного числа елементів. Щодо цієї групи рівняння загальної теорії відносності є незмінними, але як це відіб’ється на законах збереження, було не ясно.

Питання про зв’язок симетрії із законами збереження в самому загальному виді вирішила в 1918 році видатна жінка-математик **Еммі Нетер** (1882 – 1935). Наведемо дослівний текст двох її теорем: він дозволяє відчувати, наскільки мова сучасної науки віддалена від нашого буденного рівня мислення. Отже,

“1. Якщо інтеграл j інваріантний відносно певної групи G_r , то r лінійно незалежних лагранжових виразів перетворюються в дивергенції, і навпаки – з останньої умови випливає інваріантність j відносно певної групи G_r . Теорема є

правильною і в граничному випадку безконечно великої кількості параметрів.

2. Якщо інтеграл J інваріантний відносно групи $G_{\infty p}$, в якій є похідні до σ -го порядку, то між лагранжовими виразами та їх похідними до σ -го порядку є p тотожних співвідношень; тут також можливе обертання.

Для змішаних груп зберігають силу обидві теореми: отже, є як залежні, так і незалежні співвідношення дивергенції”.

Друга теорема Нетер близька за змістом до першої, але відноситься до наслідку інваріантності рівняння щодо нескінченної групи. У цьому випадку гарантується лише існування визначеного числа тотожностей, що, узагалі кажучи, не можна строго вважати законами збереження. До цього типу симетрії належить рівняння загальної теорії відносності.

Таким чином, у фізичній теорії винятково важливу роль відіграють три класи принципів: **фізичний закон**, описуваний відповідним рівнянням, **група симетрії**, щодо якої цей закон незмінний, і **сукупність фізичних величин теорії**, що задовольняють законам збереження. При цьому чільну роль грає група симетрії.

Такий підхід до побудови фізичної теорії, названий теоретико-інваріантним, став пануючим у фізиці ХХ сторіччя. Значення його гарно підкреслив один із засновників квантової механіки **Поль Дірак**: “Зростаюче застосування теорії перетворень, що спочатку була застосована в теорії відносності, а потім у квантовій теорії, представляє сутність нового методу в теоретичній фізиці. Подальший прогрес полягає в тому, щоб робити наші рівняння інваріантними відносно усе більш широких класів перетворень”.

Тепер, повертаючись думкою до початку цього розділу, ми бачимо, що вся сучасна фізика перейнята ідеєю симетрії. Тому доречно поставити запитання: чи існує глибока причина такого положення і якщо так, то в чому вона полягає?

Відповідь на це питання дав відомий фізик, що багато зробив у застосуванні симетрії в сучасній фізиці, лауреат Нобелівської

премії **Еуген Вігнер**. На його думку, у фізиці існують три рівні опису: рівень явищ (подій), законів природи і принципів симетрії. Рівень явищ найелементарніший. Це усе, що відбувається у світі: рух тіл, поглинання і випускнення випромінювання, зіткнення частинок і т.п., безліч явищ, часом самих несподіваних. Між ними начебто немає нічого спільного, але це тільки на перший погляд. Придивившись уважніше, ми виявляємо, що *між явищами є визначені взаємозв'язки, що представляють собою закони природи, а їхнє відшукування і є те, що ми називаємо наукою.*

Розглянемо уважніше відносини між явищами і законами природи. Припустимо, писав Вігнер, що ми знаємо положення якої-небудь планети в будь-який момент часу. Тоді відповідні закони природи, у даному випадку закони небесної механіки, не можуть нам повідомити нічого нового щодо руху цієї планети. “Вірне і більш загальне твердження, – продовжував Вігнер, – якби ми мали повну інформацію про всі події у світі незалежно від того, де і коли вони відбуваються, то закони фізики, а в дійсності і будь-якій іншій науці були б нам не потрібні”. Звичайно, якби ці закони були нам відомі, то їх споглядання доставляло б нам задоволення і розвагу, але не більше, тому що нової корисної інформації вони б нам не давали.

Подивимося тепер, як співвідносяться між собою закони природи і принципи симетрії. Якщо закон природи, наприклад рівняння електродинаміки, відомий, то знання різних тонких властивостей цих рівнянь нічого нового до наших фактичних знань не додасть. Навіть якщо ми знаємо, що ці рівняння при рухах спостерігача і при його обертаннях не змінюються. Тому що все це міститься в наших рівняннях і відомий нам факт їхньої інваріантності не змінить ні їхнього числа, ні характеру зв'язків. “Узагальнюючи ту ж думку, – писав **Вігнер**, – можна сказати, що якби ми знали всі закони чи один усеосяжний закон природи, то властивості інваріантності цих законів не давали б нам нічого нового. Споглядання симетрії могло б доставити нам задоволення і побавити навіть у тому випадку, якби вони і не містили нової інформації”. Але нам, на жаль, не відомі всі і

навіть більшість законів приводи. Тому пізнання властивостей симетрії “складеться в наділенні структурою законів природи чи встановленні між ними внутрішнього зв’язку, так само як закони природи встановлюють структуру або взаємозв’язок у світі явищ”. Можна сказати, що якщо *закони природи керують явищами*, то *принципи симетрії керують законами природи*. ***Принципи симетрії – це закони фізичних законів.***

СИМЕТРІЇ У МІКРОСВІТІ. Принципи симетрії, що лежать в основі законів класичної, релятивістської і квантової механіки, не мають наочного представлення. Вони усе-таки стосуються геометричних принципів, бо в їхній основі лежать перетворення простору і часу. І хоча вони і встановлюють структуру законів природи, то виражаються за допомогою фізичних величин самих явищ. Наприклад, незалежність явища щодо зміщення в часі виражається через часові інтервали, незалежність щодо поворотів у просторі – через довільні кути і т.д.

Проникнення у світ елементарних частинок привело до встановлення нових, так званих динамічних або калібровочних принципів симетрії. Вони стосуються тих чи інших типів взаємодій, а не зв’язків між подіями і виражаються як закони природи. Багато з динамічних симетрій – наближені.

В середині 50-х років було ясно, що в остаточному підсумку усе побудоване з елементарних частинок, які елементарні, тобто найпростіші і неподільні, і тому їх небагато. Це квант електромагнітного випромінювання – фотон, електрон і позитрон, протон і антипротон, нейтрон і антинейтрон, мезон і гіпотетична частинка нейтрино.

Усі частинки були “при справі”. Ядра атомів побудовані з протонів і нейтронів. Протони несуть одиничний додатний заряд і визначають заряд ядра. Нейтрони не мають електричного заряду, але, будучи за масою приблизно рівними протону, визначають атомну вагу. У ядрі між протонами і нейтронами діють сили

притягання, до яких певне відношення має мезон. І нарешті, нейтрино-нейтральна частинка, що не має маси спокою, як

фотон, ні з чим не взаємодіюча і потрібна тільки для того, щоб при ядерних реакціях не порушувався закон збереження енергії.

Позитрон, антипротон і антинейтрон – античастинки, зовсім такі ж, як електрон, протон і нейтрон, але в перших двох випадках несуть протилежні заряди. З них побудована антиматерія в антисвіті, якого ніхто не бачив. Античастинки і частинки при зустрічі **анігілюють** (“нихиль” – ніщо) – взаємно знищуються з утворенням фотонів.

Через 30 років виявилось, що світ набагато складніший і незрозуміліший. Вже відкрито близько 400 елементарних частинок. Та й саме поняття елементарності, тобто незмінності, неподільності, фундаментальності, до більшості частинок може бути застосоване з великою натяжкою. Навпаки, головна властивість елементарних частинок – їхнє взаємне перетворення.

Повторюючись, зазначимо, що елементарні частинки поділяють на три великі групи.

До першої групи належить – **фотон**, маси спокою й електричного заряду в якої немає.

Другу групу складають **лепто**ни (“лепто” – легкий). Серед них – електрон e і три різновиди нейтрино ν .

Всі інші частинки належать до третьої групи – **адронів** (“адрон” – великий, масивний). Вона, у свою чергу, поділяється на дві підгрупи: мезонів і баріонів. Мезони (“мезос” – проміжний) містять у собі як ті мезони, що вважали відповідальними за ядерні сили (їхній стали називати піонами π), так і знову відкриті. У підгрупу баріонів (“бар” – важкість) входять нейтрон n , протон p і ще ряд частинок.

Головна властивість елементарних частинок – їхні взаємні перетворення. Величезна кількість ядерних реакцій протікає в космічних променях, у надрах зір і в лабораторіях. Як хімічні реакції підкоряються законам збереження маси і валентності, так ядерні реакції підкоряються своїм специфічним законам збереження. Ці закони пов’язані із динамічними симетріями.

Але перелічимо коротко ті специфічні фізичні величини, що характеризують властивості елементарних частинок.

Про *електричний заряд* мова була. Елементарні частинки можуть нести як одиничний позитивний, так і одиничний негативний електричний заряд. Одиничний заряд за абсолютною величиною дорівнює заряду електрона. Є і нейтральні частинки – нейтрон, фотон і нейтрино.

У баріонів є свій баріонний заряд B . Як електричний заряд визначає електричну взаємодію елементарних частинок, так баріонний заряд визначає взаємодію баріонів. Але на відміну від електричного заряду, що створює електростатичне поле, спеціального баріонного поля немає. Тому баріонний заряд – це квантове число, що характеризує певний ступінь свободи частинок. Для всіх баріонів $B = 1$, для антибаріонів $B = -1$. Інші частинки: фотон, лептони і мезони не мають баріонного заряду: $B = 0$.

Два головних баріони – нейтрон і протон – дуже схожі один на одного. Тому ще в 30-і роки Нобелівський лауреат **Вернер Гайзенберг** запропонував вважати їх різними станами однієї і тієї ж частинки – нуклона. Стан нуклона прийнято характеризувати спеціальним квантовим числом **ізоспіном** I . Для протона $I = 1/2$, а для нейтрона $I = -1/2$.

Всі адрони описуються ще одним квантовим числом – **дивністю** S . Воно може бути нульовим, додатнім чи від'ємним, але обов'язково цілим, причому $|S| \leq 3$. Античастинки мають S протилежного знаку порівняно з частинками.

Ще одне квантове число – **парність** P . Воно характеризує властивість хвильової функції частинки змінювати або зберігати свій знак при зміні знака всіх трьох просторових координат. Фактично це означає просторове перетворення – відображення у трьох взаємно перпендикулярних площинах або в центрі симетрії. При такому перетворенні права система координат переходить у ліву. У правій системі людина, що стоїть у початку координат на площині XZ , зправа буде мати вісь X , а зліва – вісь Z . У лівій системі координат навпаки: права рука буде указувати вісь Z , а ліва – вісь X .

Для більш наочного представлення повернемо ліву систему координат на кут 180° навколо осі Z і на 90° навколо осі X .

Виявимо, що перетворення парності еквівалентне відображенню в площині симетрії. У нашому випадку це площина (XZ). Поворот на 90° не змінює парність.

Парність як квантове число може приймати тільки два значення: $+1$ і -1 . Це відповідає двом можливостям для частинки: або вона перетвориться в себе при відображенні в площині симетрії як скаляр (група – геометричний образ сфера), чи полярний вектор (стрілка), або як псевдоскаляр (оо/оо – сфера з закрученими радіусами), чи аксіальний вектор (відрізок прямої з огинаючою стрілкою).

Існує ще цілий ряд квантових чисел, з якими теж зв'язані закони збереження, але вони не так наочно зв'язані із симетрією, як зазначені вище.

КОНКРЕТНИЙ АНАЛІЗ. З найпростішою симетрією ми зіштовхуємося, розглядаючи ядро. Сили, що діють між протонами і нейтронами, не залежать від електричного заряду. **Тому ядра, в яких усі протони замінені на нейтрони і навпаки, мають майже однакові властивості. Такі ядра називають дзеркальними.** Наприклад, властивості ядра літію-7, у якому три протони і чотири нейтрони, майже однакові з властивостями ядра берилію-7, що містить чотири протони і три нейтрони.

Це **перша динамічна симетрія у світі елементарних частинок.** Вона не точна, тому говорять про **майже однакові** властивості таких дзеркальних ядер. Невелика відмінність вноситься електричним зарядом протона.

Друга динамічна симетрія пов'язана з можливістю існування антисвіту. Кожній частинці в наведеній вище схемі, за винятком фотона, відповідає своя античастинка, їхні маси рівні, а електричні заряди протилежні. Що ж стосується незаряджених елементарних частинок, то в них змінюються на протилежні інші властивості. Зокрема, нейтрино відрізняється від антинейтрино напрямком власного моменту – **спіна**. У нейтрино спін орієнтований за напрямком руху частинок, в антинейтрино – проти. Можна сказати, що нейтрино подібно гвинту з лівою нарізкою, а антинейтрино – із правою:

Симетрія світу щодо антисвіту зовсім точна. Але тоді виникає законне питання: чому наш реальний світ складається з частинок і в ньому зовсім мало античастинок, не кажучи вже про антиречовину?

Відповідь на це питання начебто очевидна. Якби в нашому реальному світі частинок і античастинок було порівну, вони моментально анігілювали, і світ припинив би своє існування. Однак це не відповідь. Адже світ все-таки існує, і хоча фізичні закони зтверджують абсолютну рівноправність частинок і античастинок, абсолютну симетрію, у реальності вона порушується. Фізична причина цього до кінця не ясна. Але з погляду симетрії цю ситуацію можна пояснити за допомогою поняття прихованої симетрії.

Уявимо собі дві однакові долини, розділені пагорбом. На пагорбі куля. Початкова ситуація зовсім симетрична, і куля з рівною імовірністю може скотитися в кожную з двох долин. Але скочується вона все-таки в одну. Симетрія порушується внаслідок зовсім випадкових причин, і кінцевий стан вже асиметричний. “Ідея прихованої симетрії у фізиці елементарних частинок, – писав англійський фізик-теоретик **Кріс Люеллін-Сміт**, – якщо зформулювати її в найбільш загальному вигляді і нестрого, полягає в тому, що весь Всесвіт у деякому смислі аналогічний ситуації, розглянутій у прикладі. Закони, що описують поведінку Всесвіту є симетричними, однак відповідні цим законам симетричні розв’язки нестійкі. Тому весь “Всесвіт переходить в асиметричний стан, подібно до того, як куля скочується з пагорба в долину”.

Прихована симетрія речовини й антиречовини складається в рівній можливості виникнення частинок і античастинок. Так, очевидно, і було на ранній стадії утворення Всесвіту. Але *в справу втрутилися граничні умови*. Так фізики називають **сукупність початкових значень параметрів, при яких відбувається фізичний процес**. *Граничні умови не можуть бути враховані ні в якій з існуючих зараз теорій, вони зовсім випадкові*. Вони й і призвели до того, що Всесвіт “зкотився” у долину речовини, а не антиречовини.

КОНКРЕТИЗАЦІЯ. Особливість світу елементарних частинок полягає в тому, що точність виконання законів збереження, а, отже, і точність прояву симетрії, різна для різних взаємодій.

На початку 50-х років ХХ ст. у відношенні Симетрії у світі елементарних частинок все було спокійно. В усіх ядерних реакціях строго дотримувалися всі квантові числа, що характеризують властивості елементарних частинок, зокрема й електричний і баріонний заряди, ізоспін, дивність, і парність.

Як приклад розглянемо реакцію анігіляції протона p і антипротона \bar{p} : $p + \bar{p} = 2\pi^+ + 2\pi^-$.

Внаслідок цієї реакції виходять чотири піони: два додатних і два від'ємних. Ця реакція контролюється сильною взаємодією.

Симетрія стосовно електричного заряду в цій реакції дотримується: зправа і зліва електричний заряд дорівнює нулю. Зміна знака заряду частинок зветься С-перетворенням, закон збереження електричного заряду С-інваріантістю.

Баріонний заряд теж зберігається. У протона $B = 1$, в антипротона $B = -1$, піони мають баріонний заряд, що дорівнює нулю.

Розглянемо симетрію стосовно ізоспіна. Ізоспін протона дорівнює $+1/2$, антипротона $-1/2$. Для позитивного піона $I = +1$, для негативного $I = -1$. Дивність теж зберігається, тому що для всіх частинок, що беруть участь у реакції, $S = 0$. Також є узгодженість із симетрією стосовно парності.

Парність протона $p = 1$, антипротона $\bar{p} = -1$. Парність додатного і від'ємного піона дорівнює -1 .

Підрахунок сумарної парності системи частинок можна зробити за спрощеною формулою

$$p = p_1 p_2 \dots p_n (-1)^L,$$

де $p_1 p_2 \dots p_n$ – парності частинок, що входять у систему, а L – загальний кутовий момент системи. Остання величина тут дорівнює сумарному моменту власного обертання частинок – спіна. Для протона й антипротона спін дорівнює $1/2$, а для піонів – 0 . Підставляючи всі значені величини у формулу, одержимо для лівої і правої частини одиницю. Парність у цій реакції

анігіляції зберігається. Це означає, що всі частинки перетворюються в себе при переході від правої системи координат до лівої, тобто при відображенні в площині симетрії. Можна сказати, що такою симетрією володіє простір, де протікає ця реакція. У цьому просторі ліве і праве нерозрізненне.

Перетворення парності називають P -перетворенням і закон збереження парності – P -інваріантністю.

Подивимося тепер на ядерну реакцію з іншої точки зору. Протон і антипротон анігілюють з утворенням піонів. Але можливий і зворотний процес: якщо чотири піони зустрінуться разом, то відбудеться народження протона й антипротона.

Щоправда зворотний процес не обов'язково відбудеться. Адже імовірність зустрічі чотирьох частинок в одному місці дуже мала. Тому пряма реакція більш імовірна, ніж зворотна.

Однак тут важливий факт принципової можливості зворотного процесу. Його зручно трактувати як процес обернення часу.

Процес обернення часу, чи T -перетворення не слід розуміти буквально. Однак згадаємо, що необоротність часу в макросвіті визначається напрямом розсіювання енергії і зменшенням міри порядку. Це фундаментальні фізичні закони. У мікросвіті елементарних частинок фундаментальних законів, що накладають заборону на обернення часу, немає. Тому якщо розглядати процес, в якому усі швидкості частинок і їх спіни замінені на протилежні, а самі частинки, що перебувають у початковому і кінцевому станах, помінялися місцями, то ніщо не забороняє трактувати такий процес як симетричний щодо зміни перебігу часу чи як T -інваріантність.

З T -перетворенням не пов'язане ніяке спеціальне квантове число, і тому аналіз T -інваріантності вимагає скрупульозного розгляду орієнтації спінів і швидкостей. Але в 1934 році Нобелівський лауреат **Вольфганг Паулі** і **Віктор Вайскопф** показали, що *головні перетворення – зарядова C , парність P , обернення часу T утворюють групу в математичному смислі*. В якості одиничної операції може бути узятий квадрат будь-якого із перетворень. Звідси випливає, що добуток кожного

з двох перетворень рівний третьому перетворенню. Це дало можливість перевірити Т-інваріантність непрямим методом. Досить було переконалися, що С- і Р-інваріантності виконуються, як звідси впливала інваріантність розглянутого процесу стосовно обернення часу. Для згаданої вище реакції це так і є. Виконуються закон збереження заряду і парність, отже, дотримується Т-інваріантність: реакція може відбутися в зворотному напрямку.

Отже, в середині 50-х років фізики були переконані в тім, що всі закони збереження справно діють у світі елементарних частинок і всі симетрії дотримуються.

Але в 1956 році були відкриті дві незвичайні частинки, їх назвали θ^+ і τ^+ . Їхні маси, заряди і тривалості життя були рівні, і виявилось очевидним, що це та сама частинка. Однак розпадалися вони по-різному: $\theta^+ = \pi^+ + \pi^0$, $\tau^+ = 2\pi^+ + \pi^-$

Такі розпади контролюються слабкою взаємодією. Якщо тепер порахувати парність цих реакцій за простою формулою, то для $\theta^+ P = 1$, а для $\tau^+ P = -1$.

Таким чином, у фізиці елементарних частинок виникла цікава ситуація. Можна було вважати, що частинки θ^+ і τ^+ різні за своєю природою, але тоді доводиться визнати, що в одній із реакцій при слабких взаємодіях парність порушується.

Прийняття кожної з цих двох точок зору привело б до серйозних потрясінь у фізиці, але друга можливість вимагала більш радикального перегляду поглядів на симетрію в мікросвіті. Адже порушення парності хоча б в одній з реакцій елементарних частинок означало б нерівноправність правого і лівого в мікросвіті.

Цю концепцію узялися відстоювати два американських теоретики Лі і Янг. Проаналізувавши виниклу критичну ситуацію, вони виявили те, на що усі фізики не звертали уваги: закон збереження парності строго доведений тільки для електромагнітних і сильних взаємодій. Для слабких взаємодій ніяких заборон на порушення цього закону немає. Тому, θ^+ і τ^+ це одна і та сама частинка (незабаром її назвали K) і в одному з її розпадів парність не зберігається.

Однак сказане не більш ніж декларація, і фізики, особливо коли мова йде про катастрофу фундаментальних принципів їхніх теорій, вимагають прямих експериментальних доказів. Дослід – от вищий суддя за всіх часів і у всіх фізиків.

Лі і Янг запропонували дослід, у якому на підставі ще однієї ядерної реакції можна було б показати, що парності не зберігаються, а потім за допомогою квантової теорії інтерпретувати його результати як асиметрію правого і лівого. Такий дослід нічого не вирішив би (у цьому випадку насамперед виник би сумнів у правомірності теорії). Вони запропонували пряму можливість переконатися усім у відсутності дзеркальної симетрії світу для слабких взаємодій, що не залежить ні від квантової, ні від будь-якої іншої теорії. Цей вирішальний дослід у 1957 році здійснила група американських фізиків під керівництвом професора Ву.

Схема дослідів Ву проста і наочна. Необхідно було з'ясувати, чи має дзеркальну симетрію радіоактивний розпад якого-небудь ядра. Якщо взяти зразок радіоактивного кобальту, що випускає електрони, і не приймати ніяких обережностей, то число електронів, що розлітаються в різні боки, буде однаковим, і хмара електронів буде мати сферичну симетрію. Це відбувається тому, що тепловий рух орієнтує власні моменти атомів кобальту (спіни) хаотично. Тому, якщо навіть кожен окремий атом випускає електрони в один бік більше, ніж в іншу, ми цього не помітимо. Потрібно орієнтувати спіни всіх атомів кобальту в один бік. Для цього зразок охолоджували до дуже низької температури і, крім того, помістили в сильне магнітне поле, створюване соленоїдом зі струмом.

І вийшло те, що й було передбачене: число електронів, що випускаються в один та другий бік, виявилось різним. Нічого

подібного не повинно було б спостерігатися, якби світ слабких взаємодій мав дзеркальну симетрію. Тобто якби була симетрія лівого і правого, то електрони в реальному досліді повинні були б рівномірно вилітати з обох кінців соленоїда.

Тепер проведемо дзеркальний експеримент. Якщо ліве і праве нерозрізненні, то в досліді не буде мати значення, як рухається струм по обмотці соленоїда – за годинниковою стрілкою чи проти. Змінивши напрям струму, виявляють однак, що ситуація залишається такою ж: електрони переважно вилітають з того торця соленоїда, з якого струм здається текучим за годинниковою стрілкою.

Інші, менш наочні досліди з безсумнівною довели, що в процесах, контрольованих слабкою взаємодією, світ не має дзеркальної симетрії. Важливість цього висновку для усієї фізики і філософії настільки очевидна, що вже через рік (випадок надзвичайно рідкісний у цій практиці) Нобелівський комітет присудив Лі і Янгові премію з фізики.

Порушення дзеркальної симетрії при слабких взаємодіях спричиняє цікавий наслідок, про який вище було згадано: про симетрію електричних і магнітних полів. П'єр Кюрі показав, що вона різна: електричне поле полярне, а магнітне – аксіальне. Таку симетрію вони мають у нашому звичайному світі, де дзеркальна симетрія дотримується неухильно. У світі ж слабких взаємодій електричне поле стає аксіальним, а магнітне – полярним. Це не суперечить рівнянням електродинаміки, а відображається лише на перетвореннях цих величин при переході від правої до лівої системи координат.

Слабкі взаємодії, на щастя, незначно впливають на електромагнітні сили, що визначають поведінку речовини в електричних і магнітних полях у нашому світі. Тому немає ніяких підстав відмовлятися в макросвіті від трактування цих величин, яке дав **П'єр Кюрі**.

ПОРУШЕННЯ С- І СР-ІНВАРІАНТНОСТІ. Теорія **Лі і Янга** та експеримент **Ву** виявилися подібними до перших каменів, що породжують лавину. Уважний аналіз результатів дослідів **Ву**, проведений **Лі і Янгом**, а також **Л.Д.Ландау**, показав, що в ньому не зберігається не лише парність, але й симетрія стосовно електричного заряду – **С-інваріантність!**

Виявляється, при слабких взаємодіях порушується симетрія між частинками і античастинками!

Щоб зрозуміти суть справи: радіоактивний кобальт випускає не лише електрони, але й антинейтрино. Нейтрино ж подібно гвинту з лівою нарізкою, антинейтрино – з правою. Якщо парність не зберігається, а зберігається електричний заряд, то внаслідок розпаду радіоактивного кобальту в досліді Ву повинне б утворюватися ліве антинейтрино, а такого в природі не може бути. Отже, порушується C -інваріантність.

Здавалося валилися основи фізики мікросвіту. Для їхнього порятунку **Лі, Янг і Ландау** висунули ідею про збереження CP -інваріантності. Якщо, вважали вони, замінити в досліді Ву всі частинки на античастинки й одночасно провести дзеркальний експеримент, то його результати нічим не будуть відрізнятися від прямого експерименту.

Так начебто все встало на свої місця. Використовуючи образні порівняння, говорили, що світ слабких взаємодій такий, що в дзеркалі ви побачите не двійника, а антидвійника, який складається з античастинок. Однак ілюзія розуміння слабкої взаємодії невдовзі розвіялась. У 1964 році було виявлене порушення і C -інваріантності в деяких розпадах K -мезонів. Вихід із тупика (але не фізичне пояснення) вказала так звана CPT -теорема.

Як згадано, перетворення C , P , T утворюють групу в математичному смислі, де добуток двох будь-яких перетворень дорівнює третьому. Ще в 1951 – 1955 роках Нобелівські лауреати **Юліан Швінгер, Вольфганг Паулі** і теоретик **Герхард Людєрс** показали: будь-яка квантова теорія, що узгоджується з теорією

відносності, повинна бути інваріантною щодо CPT -групи. Інакше кажучи, наш світ і світ, що утворюється з нашого світу шляхом обернення часу, парності і електричних зарядів, повинні бути цілком однакові. Світ симетричний тільки щодо заміни всіх трьох перетворень, а кожне перетворення окремо може приводити до асиметрії.

До 1956 року потреби в цій теоремі у фізиків просто не було. Вважалося, що світ симетричний щодо кожного окремого перетворення, і *CPT*-теорема розглядалася як деякий екзотичний, чисто теоретичний результат. Однак після відкриття порушення *CP*-інваріантності про неї згадали. Із *CPT*-теорем випливає, що порушення *P*-інваріантності в досліді Ву спричиняє порушення *CT*-інваріантності. Але оскільки зарядова симетрія порушується, а *CP*-інваріантність зберігається, то випливає, що в цьому досліді зберігається *T*-інваріантність. Тобто при радіоактивному розпаді кобальту не можна визначити, в якому напрямку протікає час – у прямому чи зворотному. Порушення *CP*-інваріантності неминуче приводить до порушення *T*-інваріантності. Можливо, що саме ці процеси і визначають напрямок, “стріли” часу в мікросвіті, як процеси розсіювання енергії і зменшення порядку визначають “стрілу” часу в нашому макросвіті.

Отже, у світі елементарних частинок симетрія явно контролюється взаємодією: чим сильніша взаємодія, тим точніша симетрія. У процесах, контрольованих сильною (ядерною) взаємодією, строго витримуються *C*-, *P*- і *T*-симетрії, кожна зокрема і всі разом. Те ж саме спостерігається і при електромагнітних взаємодіях. У слабких же взаємодіях кожна з динамічних симетрій порушується, і тільки їхня спільна дія утримує світ у симетричному стані.

УНІТАРНА СИМЕТРІЯ. Вже до початку 60-х років ХХ ст. фізики відмовилися вважати кожен адрон елементарною частинкою. Так багато елементарних частинок бути не може хоча б із тієї причини, що усі відомі, фундаментальні закони природи відрізняються простотою. Але ми не знаємо законів, які керують світом адронів, і тут на допомогу приходять закони фізичних законів – **симетрія**. Фактично лише вона прокладає зараз шлях до повного розуміння цього світу.

Про першу спробу застосувати симетрію для класифікації адронів вже сказано. Увівши ізоспін, можна було вважати протон і нейтрон однією частинкою – нуклоном. Аналогічно можна було вважати, що існує один піон, а не три. Але цього, звичайно, мало. Необхідно було знайти вищу симетрію, щоб об'єднати якомога більше число схожих частинок і вважати їх різними станами однієї елементарної частинки. На цьому шляху стояв психологічний бар'єр, який не так-то просто було перебороти: якщо квантові числа адронів і підкоряються якимсь закономірностям, то маси майже у всіх частинок різні. Вони ніяк не уклалися ні в які схеми.

Вирішальний крок зробив американський теоретик, Нобелівський лауреат **Маррі Гелл-Ман**. Як основу для класифікації він узяв сукупність квантових чисел, вважаючи маси важливими параметрами, але такими, які для частинок, що належать до однієї групи, можуть бути рівними лише наближено. Йому вдалося знайти закони симетрії, яким підкоряються адрони, і на цій основі побудувати їхню класифікацію. Ці закони одержали назву **унітарної симетрії**.

Вихідна ідея унітарної симетрії – факт незалежності рівняння для енергії сильної взаємодії щодо деяких перетворень, які утворюють групу. Ця група (її позначають SU (3)) еквівалентна поворотам в абстрактному векторному просторі і її перетворення можуть бути описані декількома параметрами! Головними серед них є ізоспін I і так званий гіперзаряд $U = B + S$, де B – баріонний заряд і S – дивність.

Як і будь-яка група обертань у тривимірному просторі задає різні симетричні комбінації точок з набором просторових координат, так і група SU (3) задає різні симетричні комбінації точок у просторі, координатами якого є ізоспін, гіперзаряд та електричний заряд. Таких комбінацій може бути 1, 3, 6, 8, 10, 15, 21 і т.д. Вони називаються **супермультиплетами**. Графічно їх зручно представляти точками на площині, де як координати беруться гіперзаряд та ізоспін.

Гелл-Ман зіставив значення I і U , що давала група $SU(3)$ для восьмиричного супермультиплету – октету, зі значеннями цих величин для реальних лептонів, і з подивом констатував їхнє повне співпадання. Октет об'єднав разом не тільки протон і нейтрон, але ще баріони, що позначаються Ξ , Σ і Λ , причому виявилось, що різниця в масах цих частинок зовсім невелика, порядку 15%. Це дозволило Гелл-Ману висловити твердження, що всі частинки, приналежні до октету, насправді не елементарні, вони є різними станами однієї частинки.

Аналогічний октет удалося одержати і для мезонів. Їх теж вважають різними станами однієї частинки.

Серйозним іспитам унітарну симетрію піддали короткоживучі частинки, названі баріонними резонансами. Їх було відомо вісім, і здавалося, що вони теж утворять супермультиплет – октет. Однак у 1961 році на конференції з фізики елементарних частинок було оголошено про відкриття дев'ятої частинки з такими ж властивостями. Здавалося, схема завалилася: восьмиричний шлях себе не виправдав. Але тут же Гелл-Ман вказав, що унітарна симетрія допускає і комбінації з десяти перетворень – декуплетний супермультиплет. Знову відкрита частинка разом із відомими вісьмома добре уклалася в цей декуплет. Крім того, залишилося місце ще для однієї, тоді ще не відкритої, десятої, частинки. Гелл-Ман на очах присутніх виписав її квантові числа. Через три роки в Брукхейвенській національній лабораторії (США) ця невідома частинка, властивості якої в точності збігалися з передвіщеними Гелл-Маном, була виявлена.

Це був тріумф унітарної симетрії. І багато фізиків вважали, що тепер з елементарними частинками все ясно. Для них побудована деяка подоба періодичної системи хімічних елементів, і тепер можна заздалегідь пророкувати властивості невідкритих частинок.

Справді, унітарна симетрія показала, що всі адрони належать до декількох супермультиплетів, параметри яких –

квантові числа – пов’язані між собою законами симетрії. Тому, якщо відкриті протон і нейтрон, можна автоматично пророчити існування шести інших частинок, що разом складають октет. Звичайно, протон і нейтрон могли б не належати октету, але унітарна симетрія не знає супермультиплетів з двох частинок. Тому відкриття p й n саме по собі пророкує “дещо ще”. Конкретно це залежить від того, до якого супермультиплету належать p і n .

Однак унітарна симетрія не пророкує, які саме супермультиплету можуть існувати. Якщо відомі деякі члени супермультиплету, то унітарна симетрія визначає існування усіх інших членів. Але сама по собі унітарна симетрія не передбачає, що в природі повинні існувати, скажімо, октети. Зараз нам відомо, що в природі є синглети, октети і декуплети. Чому тільки вони і чому немає інших супермультиплетів, що задаються групою $SU(3)$? На ці питання унітарна симетрія відповісти не може.

Далі, унітарна симетрія – усе-таки наближена симетрія. Вже згадано, що за масою частинок вона виконується з точністю приблизно 15%. Тоді виникає питання: чому ця симетрія порушується і що викликає порушення? Питання це тепер є головним у теорії сильних взаємодій.

Тут проходить передній край науки про елементарні частинки.

КОНЦЕПЦІЯ КВАРКІВ. При вивченні зовнішньої форми і внутрішньої структури кристалів, їхніх фізичних властивостей, фізичних величин і полів симетрія виступала не просто як зручна математична схема, а як апарат, метод, адекватний природі навколишнього світу. Тому-то часто симетрія як метод виявлялася розумнішою за своїх творців, бо відповідала найзагальнішим і найглибшим законам.

Так трапилося і з природою унітарної симетрії. У комбінації параметрів, що допускає група $SU(3)$, тут виділено

супермультиплети з трьох і шести елементів. Спочатку вважалося, що їм немає і не може бути адекватних груп елементарних частинок, тому що такі частинки повинні б мати дробовий електричний заряд, рівній одній чи двом третинами заряду електрона. Це вважалося немислимим, тому що в реальному світі електричний заряд електрона – найменший і всі інші заряди кратні йому. Це твердо, надійно установлений факт. Але, вивчаючи властивості унітарної симетрії, Гелл-Ман і незалежно Джордж Цвайг побудували все-таки супермультіплет із трьох гіпотетичних частинок з дробовим електричним зарядом. І тут виявилось, що за допомогою гіпотетичних частинок можна побудувати всі адрони! Правда, для цього довелося постулювати, що в кожній такої частинки є своя античастинка.

Цвайг назвав гіпотетичні частинки тузами. Прижилася однак інша, дана Гелл-Маном – *кварки*. Вона точніше відповідає незвичайним властивостям цих частинок. У фантастичному романі ірландського письменника Джеймса Джойса “Поминки по Фіннегану” у сцені банкету якийсь голос вимовляє: “Три кварки для містера Марка”. Що таке “три кварки”, з роману так і не ясно. Гелл-Ману це сподобалося: адже й про гіпотетичні частинки із дробовим електричним зарядом теж нічого не відомо.

Тоді кварки одержали і незвичайні назви: верхній (u), нижній (d), дивний (s). Кварки u і d не мають дивності, у кварка s дивність $s = -1$. Він як би є носієм цієї властивості.

Адрони будуються з кварків за таким принципом (§ 6): баріони складаються із трьох кварків, мезони – із двох (кварка й антикварка). Так, протон побудований з u, u і d кварків, нейтрон – з u, d і d кварків, а π^+ – з антикварка й кварка d.

Хоча багато фізиків зустріли кваркову гіпотезу скептично, вона працювала дуже справно. Усі відомі адрони виявилось можливим скласти з кварків і антикварків. При цьому зайвих об'єктів не було – усі передвіщені частинки були виявлені в експериментах.

Природно, стали шукати кварки у вільному стані. За 20 років була пророблена безліч ретельних і дотепних експериментів. Для цієї мети використовували гігантські прискорювачі частинок, тому що думали, що при зіткненнях частинок, що володіють великою енергією, можуть народжуватися вільні кварки. Вели пошуки й у космічних променях, де трапляються частки, що мають такі енергії, що неможливо одержати в земних умовах. Кварки шукали в спектрах зір, у зразках місячного ґрунту, в осадових відкладеннях, піднятих із дна океану, навіть у раковинах устриць. Безуспішно.

Трикваркова схема проіснувала до 1974 року, коли фізики відкрили черговий мезон, для конструювання якого довелося ввести ще один кварк (с) і нове квантове число, що зберігається – чарівність. У 1977 році був відкритий ще один мезон. І знову довелося придумувати ще кварк (в) квантове число – привабність.

Введено в теорію і шостий (t) кварк.

Шість кварків теж укладаються в супермультиплет, провіщений унітарною симетрією, і це вважають критерієм істинності.

Як будуть розвиватися події далі, ніхто не знає. Якщо кварки – останні цеглинки світобудови і ми дійшли вже до межі подільності речовини, то скільки ж їх насправді? Яке розширення унітарної симетрії зажадає чергове відкриття? Ясно тільки одне: симетрія зараз настільки міцно й органічно ввійшла у фізику елементарних частинок, що будь-які її нові успіхи немислимі без використання цієї плідної ідеї.

Деякі проблеми **суперсиметрії**, що пов'язані із справді екзотичними умовами надвисоких енергій, ще заторкнемо нижче. Бо ж йдеться про спонтанне порушення симетрій і пов'язані із цим породження частинок, що в подальшому стають цеглинами, з яких і збудований наш Всесвіт.

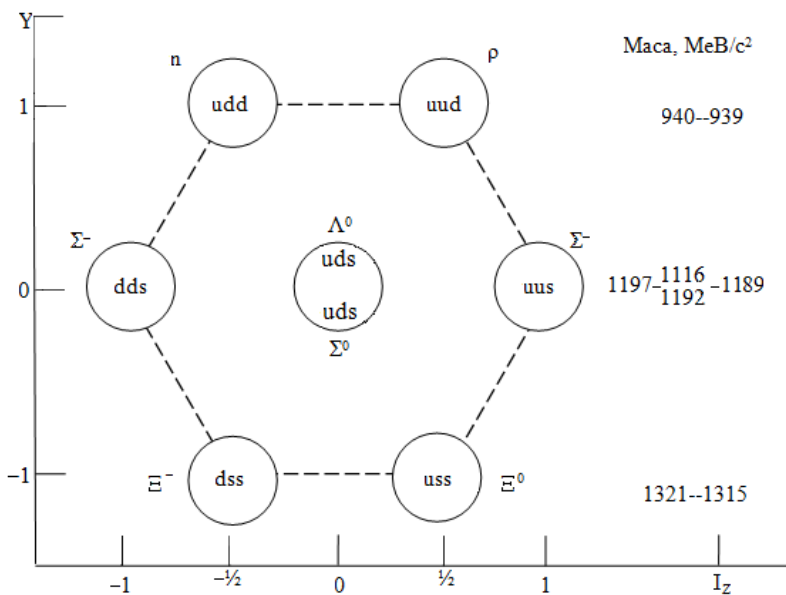


Рис. 1. Кваркова структура (октет) баріонів при $J^P=1/2^+$

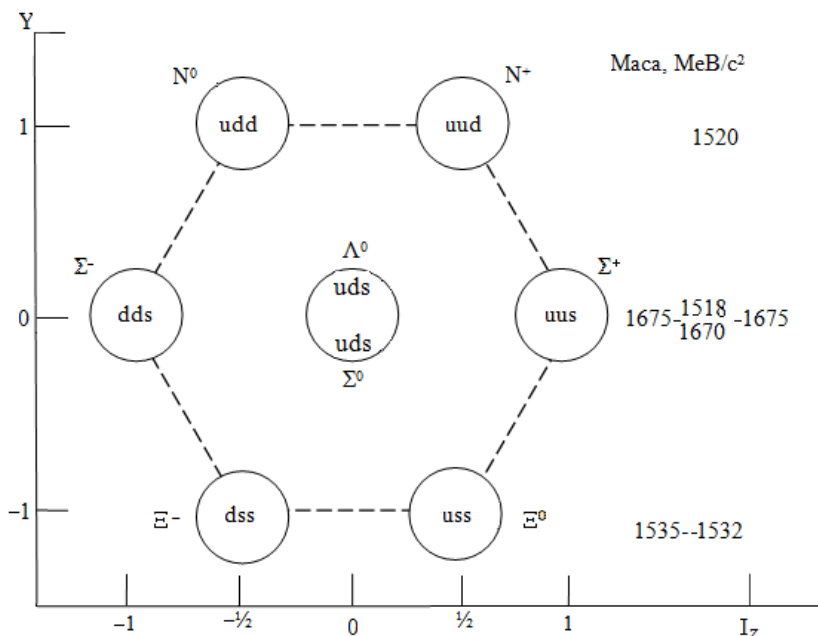


Рис. 2. Кваркова структура (октет) баріонів при $J^P=3/2^-$

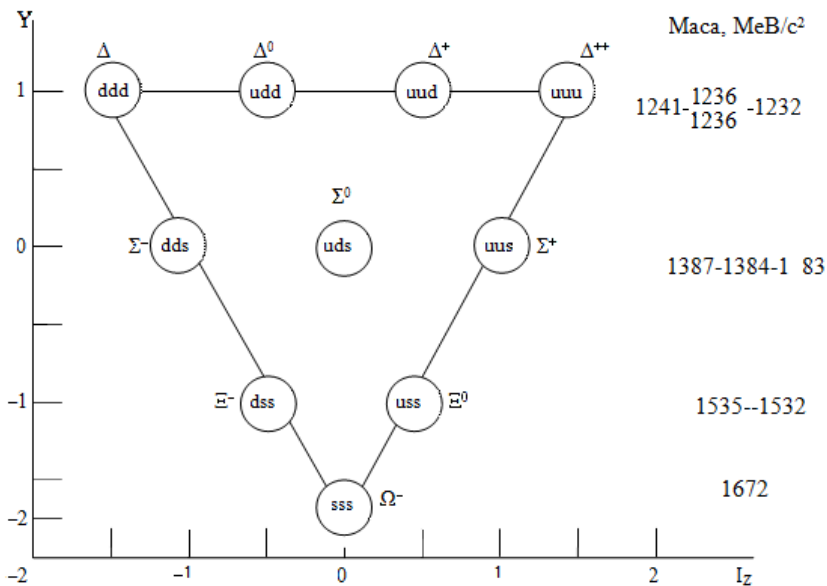


Рис. 3. Кваркова структура (декуплет) баріонів при $J^P=3/2^+$

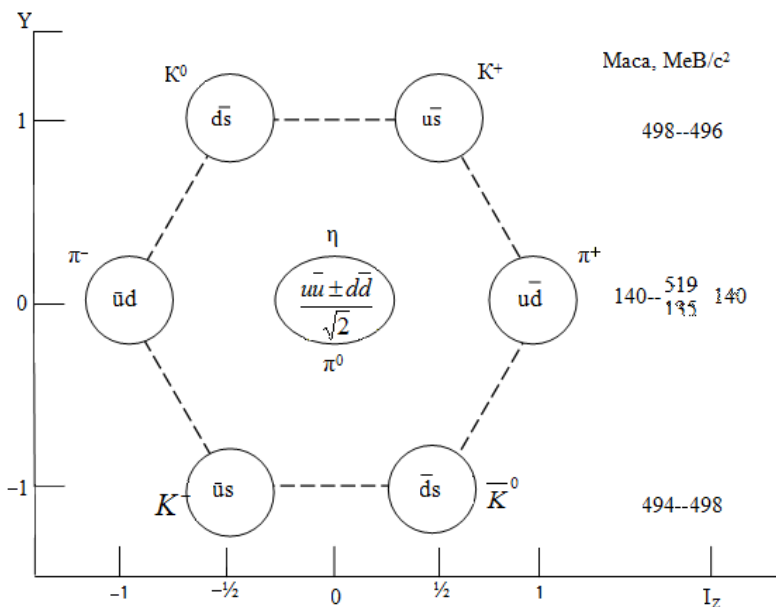


Рис. 4. Кваркова структура (октет) мезонів при $J^P=0^-$

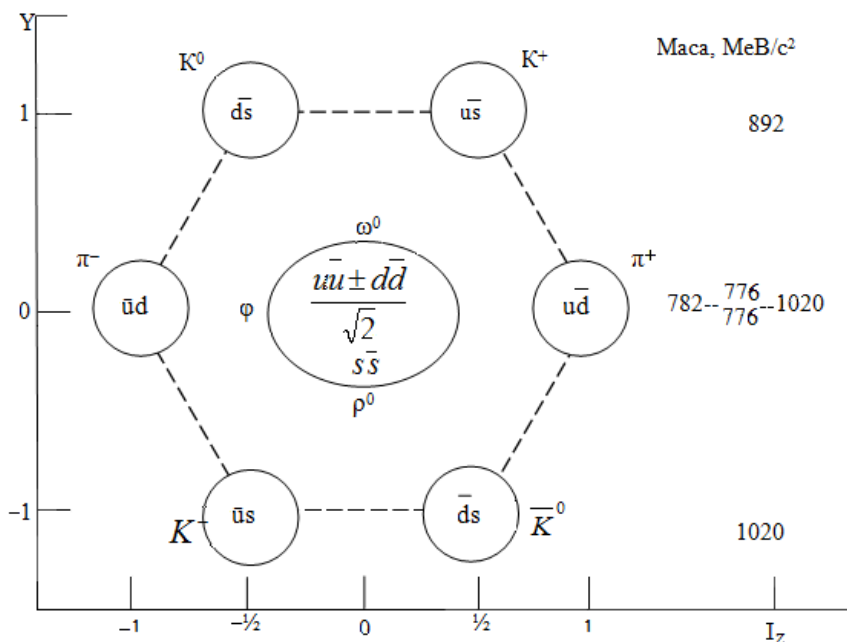


Рис. 5. Кваркова структура (октет) мезонів при $J^P=1^-$

Мінімальний набір частинок в SU (5)

Спін 1		Спін 1		Спін 1	
фотон	(γ)	фотіно	$(\tilde{\gamma})$		
глюон	(g)	глюїно	(\tilde{g})		
W-бозон	(W)	віно	(\tilde{W})		
Z-бозон	(Z)	зіно	(\tilde{Z})		
X-бозон	(X)	бозіно	(\tilde{X})		
Y-бозон	(Y)	бозіно	(\tilde{Y})		
		кварки	(q)	скварки	(\bar{q})
		лептони	(L)	електрони	(\bar{L})
		схігси	(H)	хігси	(H)

НА РІВНІ ПРЕОНІВ. Картина, що склалася наприкінці ХХ ст., така /див. Кузьмін В.Є., с. 748/: На рівні кварків загалом налічується 60 частинок. Це – 6 лептонів (e^- , μ^- , τ^- та відповідні їм нейтрино) і стільки ж антилептонів. Далі – 18 кварків (6 кварків \times 3 кольори) і така ж кількість антикварків, 8 глюонів (= 2^3 – кожен несе два кольори, яких – три), фотон, W^\pm і Z -бозони, “їх загалом забагато”, і це дає підстави для пошуку меншої кількості більш фундаментальних складових, тобто є імовірність того, що перелічені тут частинки мають певну внутрішню структуру. Отже:

“Згідно моделі преонів (від англ. preons, Паті, Салам, 1974) кожен кварк і кожен лептон можуть бути описані трьома величинами: електричним зарядом, кольором і номером покоління. Ці три параметри можна задіяти трьома групами складових частин – преонів. Преони, що визначають номер покоління, названо *сомонами* (від англ. somons). Трьом поколінням відповідають три сомони – S_1 , S_2 , і S_3 . Колір визначають *хромони* (від англ. chromons). Мало б бути чотири хромони – червоний C_r , жовтий C_y , синій C_b і безкольоровий C_0 . Група преонів, яка задає електричний заряд, має усього два преони, що ідентифікують кварк або лептон. Це – *флавори* (від англ. flavons) f_1 і f_2 . За їх допомогою можна відрізнити u -кварки від d -кварка, c -кварк від s -кварка, нейтрино ν_e від електрона e^- і т.д.

Простішою є *модель рішонів* /Харарі, 1979/, в якій постулюється існування двох фундаментальних цеглинок матерії – *рішонів*. Один рішон T має електричний заряд $Q_T = +1/3$, а другий V електрично нейтральний, $Q_V = 0$. Їм відповідає два антирішони \bar{T} і \bar{V} з електричними зарядами – $Q_{\bar{T}} = -1/3$ і $Q_{\bar{V}} = 0$. Кварки і лептони будуються як комбінації певних трьох рішонів або ж трьох антирішонів. Одночасне входження рішона й антирішона у склад частинки не допускається.

Конкретно кварк U – це комбінація TTV . Кварки і лептони 2-го і 3-го поколінь мали б містити *частинки Хіггса* (цим пояснювалася б їх велика маса). Головне тут: збагнути, що *v*

природі немає подібності, що вона ніколи в малому не відтворює властивості великих систем.

8. Концепції вакууму. Суперсиметрія.

ГЕОМЕТРИЗАЦІЯ ФІЗИКИ. У ХХ в. завдяки роботам Альберта Айнштейна і Германа Мінковського знайшла закінчену логічну і математичну форму теорія єдиного 4-мірного простору-часу. Синтез геометричних і квантових ідей зрештою привів до формулювання сучасної теорії елементарних частинок. Вирішальним кроком, поряд з подальшою розробкою принципів квантової механіки, стало створення теорії квантованих хвильових полів, що знову повернула частинкам корпускулярний статус, однак на зовсім іншій основі – елементарні частки являють собою кванти хвильових полів.

На новому витку розвитку наших представлень про природу вихідної є польова інтерпретація матерії, а розбивка поля на окремі кванти, виникнення частинок як об'єктів, розуміється як фундаментальна внутрішня властивість полів. Інтерпретація частинок як квантів хвильових полів дозволила установити природу спіна частинок (спін – власний момент кількості руху частки). Різним спіновим станам елементарних частинок однозначно зіставлялися різні компоненти квантового хвильового поля. Так, наприклад, у випадку електромагнітного поля двом станам поляризації електромагнітних хвиль після квантування зіставлялися два спінових стани фотона з проекціями спіна на напрямок руху, протилежними за знаком.

Розвиток квантово-польових представлень пройшло кілька етапів. У первісних теоретичних моделях поля матерії, що задовольняють квантовому принципу Паулі (у природі немає двох частинок-квантів, що знаходяться в абсолютно тотожних станах), і силові поля, що переносять взаємодію – поширювалися в просторі-часі з фіксованою геометрією й у класичному вакуумі – у порожнечі. Правда, на тлі цієї порожнечі навіть під час відсутності частинок, що переміщуються на макроскопічні відстані, відповідно до

принципів квантової теорії обов'язково повинні існувати малі, так названі вакуумні коливання квантових полів.

Один з основних постулатів фізики мікросвіту – принцип невизначеності – означає неможливість для квантових полів мати в фіксованій точці простору одночасно нульову значення і нульова швидкість зміни. Ця обставина народжує специфічну підсистему – нульові коливання квантових полів, принципово «неостановиме» й експериментально вимірне “тремтіння” полів, властиве самій їхній природі. Нульові коливання неможливо “заморозити”, вони існують у кожній точці простору і можуть взаємодіяти з будь-якими елементарними частинками.

Експериментально факт існування цієї вакуумної підсистеми був виявлений при вимірі Лембом і Резерфордом зміщення енергетичних рівнів у спектрі атома водню (обумовленого взаємодією з нульовими коливаннями), детально ця підсистема була досліджена при вимірі аномальних магнітних моментів електронів і мюонів. Після цього відкриття стало ясно, що вакуум уже не є “абсолютним ніщо”, порожнечю, а являє собою систему нульових коливань квантованих полів. Частки рухаються не в порожнечі, а над деяким “тлом”, у якому безперестану виникають і гаснуть польові флуктуації. При цьому самі властивості частинок визначаються їхньою взаємодією з цим тлом – вакуумом.

Таким чином, розробка проблем фізики, поставлених на рубежі XIX–XX стт., привела до становлення **двох фундаментальних концепцій**, які можна виразити ключовими словами – **геометризація** і **кванти**. Ми маємо на увазі геометризацію взаємодій і квантовий характер руху мікрооб'єктів.

Більш глибокий синтез цих понять почався вже в нашу епоху, наприкінці XX в. Насамперед, геометричною мовою були сформульовані представлення про нульові (квантових) коливаннях полів. Тепер вони інтерпретуються як нульові коливання недеформованих геометричних структур. Експериментальні дані і глибший теоретичний аналіз привели до висновку, що квантові геометричні системи здатні до

спонтанної деформації навіть під час відсутності матерії в звичному для нас розумінні цього слова. Ця обставина змусила радикально переглянути наші представлення про вакуум.

Відмовлення від представлень про вакуум, як про порожнечу є концептуальним положенням сучасної фізики. В даний час експериментальним фактом можна вважати твердження про те, що така концентрація енергії змінює не тільки ситуацію в системі частинок, але і саму структуру простору. Це твердження відбиває той факт, що вакуум є характеристикою самого простору-часу.

Згадаємо тут про ефір і помітимо, що зараз фізика знову використовує одну з властивостей, приписуваних ефіру, – представлення про те, що порожнечі як такий у природі не існує. Простір, вільний від матерії, здатної до макроскопічних переміщень, проте, порожнечою не є. Тепер у якості такої, усі що заповнює і всі середовища, що породжує, ми розуміємо спонтанно (мимовільно) деформовані вакуумні структури. Цікаво в цьому зв'язку відзначити, що рівняння фундаментальної фізики, не доповнені процедурою квантування рухів, формально математично містять розв'язки, що, з точністю до нульових коливань, можна було б зіставити абсолютній порожнечі. Однак це рішення нестійке, тобто світ не може існувати в такому режимі, коли окремі його ділянки за своїми властивостями близькі до абсолютної порожнечі. Якщо ж у рівняннях врахувати принцип квантування рухів мікрооб'єктів, виявляється, що розв'язків, які відповідають абсолютній порожнечі, рівняння просто не мають. Спонтанна деформація геометричних структур – неминучий наслідок експериментально перевірених фундаментальних законів природи.

До тепер встановлено, що найважливішим елементом матеріального світу є не просто 4-мірний континуум Айнштейна-Минковського, а 4-мірна скривлена і розшарована геометрія простору-часу. Векторні поля, які переносять взаємодії, саме й описують це розшарування. Однією з головних проблем сучасної фізики є з'ясування цього. Сьогодні ми лише знаємо, що такі розшарування існують, математично

описуються нелінійними рівняннями і відповідають полям, кванти яких несуть на собі заряди фундаментальних взаємодій.

Уперше це уявлення виникло в теорії пружності. При макроскопічному описі твердих деформованих середовищ математичний образ точки в дійсності відповідає деякому скінченному, хоч і малому обсягу речовини, що містить велике число атомів. Справа в тім, що предметом макроскопічної теорії є вивчення колективних процесів, у яких бере участь величезне число мікрочастинок. З цієї причини об'єкт, що у теорії представляється математичною точкою, насправді має внутрішню мікроскопічну структуру. У випадку твердих тіл мова йде про кристалічну структуру. Ідеальний кристал являє собою систему строго упорядкованих атомних шарів. Добре відомо, що цю структуру можна деформувати, що існує багато її дефектів, наприклад вакансії (відсутність атомів у вузлах ґрат), межвузля (вкраплення атомів між вузлами), дислокації (злиття двох атомних шарів в один) і т.д. У різних ділянках” макроскопічного тіла характер і кількість дефектів може бути різним. Тому для макроскопічного опису деформованого дефектного тіла ми повинні увести функції координат, значення яких містять інформацію про кількості і властивості дефектів. Формально математично ці функції саме і є полями, заданими на просторі цього тіла вони й описують саме це тіло. Ці поля прийнято називати полями розшарувань, такі поля наділяють кожен точку простору додатковими властивостями. У випадку деформованого тіла видно, що термін “розшарування” має буквальный сенс: те, що в макроскопічній теорії формально позначається точкою, насправді являє собою малий обсяг, що складається з великого числа атомних шарів. А математичне поле розшарувань насправді описує стан шаруватої мікроскопічної структури. Цілком може бути, що розшарування, з якими ми маємо справу в теорії фундаментальних взаємодій, має аналогічну фізичну природу, тобто вони відображають внутрішню мікроскопічну дискретну структуру простору-часу. Подібна точка зору на природу розшарувань почала формуватися в останні роки у зв'язку з досягненнями комп'ютерних експериментів на часово-

просторових ґратах. Спочатку задача ставилася дуже прагматично: чисельно, на комп'ютері розв'язати складні рівняння, які описують динаміку квантових взаємодіючих полів. Процес чисельного розв'язку завжди наближений, і одне з наближень полягає в тому, що нескінченна множина тимчасово-просторових точок, на яких визначені поля, замінюється кінцевою їхньою множиною, яку може перерахувати комп'ютер. Передбачалося, що в цих експериментах буде поступово нарощуватися точність обчислень шляхом збільшення і щільнішого розташування точок допоміжного дискретного "простору-часу". Результати чисельних експериментів, однак, привели до парадоксального висновку: виявилось, що для одержання осмислених і відтворених результатів зовсім немає необхідності прагнути до континуальної межі. Реальність досить добре описується і на дискретних множинах (на часово-просторових вузлах). Більш того, у теорії, сформульованій на ґратах, відсутній цілий ряд формальних математичних проблем, вирішити які на континуальній, безупинній множині вдається з великими зусиллями. Ці дві обставини і привели до гіпотези про те, що простір-час може мати внутрішню дискретну мікроскопічну структуру, а поля розшарувань описують дефекти в цій структурі.

Сьогодні, однак, немає упевненості в тім, що саме дискретна структура відповідає розшаруванням, які зіставляються фундаментальним взаємодіям. Є й альтернативний підхід до інтерпретації розшарувань 4-мірного простору-часу, заснований на представленнях про додаткові просторові виміри. У цьому трактуванні приймається, що кожна точка простору-часу відчуває існування додаткових вимірів. Іншими словами, не виключено, що насправді світ багатовимірний, але для виходу в додатковий вимір сьогодні в нас недостатньо енергетичних ресурсів. Саме ж існування цих вимірів, їхньої проекції на наш 4-мірний простір-час виявляються в нашому світі як векторні силові поля.

Детальні дослідження процесів взаємодії елементарних частинок на сучасних прискорювачах привели до висновку про те, що сукупність шарів простору-часу, що відповідає тільки електромагнітній взаємодії, здатна знаходитися в недеформованому стані при відсутності зовнішніх джерел, здатних створювати відповідні деформації. Як виявилось, шаруваті структури, що відповідають іншим типам взаємодій – слабкій і сильній, – спонтанно (мимовільно) деформуються. Саме деформований стан є енергетично вигідним для цих структур. Виявилось також, що характер деформації шаруватої структури, що відповідає слабкій взаємодії, істотно відрізняється від характеру деформації шарів, які відповідають сильній взаємодії. На сьогоднішній день представлення про характер цих деформацій такі: деформації “слабких” структур у деякому змісті неперервні (різні просторово-часові шари регулярно і неперервно зміщені один щодо одного, що уможливорює їх розрізняти). Деформації ж “сильних” структур, навпаки, мають яскраво виражений дискретний характер. Остання обставина зв’язана з тим, що природа “сильної” шаруватої структури цілком визначається істотно квантовими закономірностями; будучи надана самій собі, ця сукупність шарів не є класично детермінованою. Структура ж шарів слабкої взаємодії наближено класично детермінована – квантові ефекти у формі нульових коливань її лише злегка збурюють. Властивості розшарованих структур, пов’язаних із сильними взаємодіями, формуються квантовими флуктуаціями набагато більш інтенсивними (і дещо іншого походження), ніж нульові коливання.

У цілому розшарована структура являє собою квантову суперпозицію (накладання) цілком різних субструктур, що відповідають принципово різним станам квантових силових полів, які поступово переходять одне в одного. Такі переходи супроводжуються виникненням могутніх квазілокалізованих флуктуацій великої амплітуди, сильно скорельованих одна з одною. Флуктуації безупинно народжуються і гинуть, але в кожній ділянці простору й у кожен момент часу середнє їхнє число залишається незмінним. Ці стани розшарованих структур мають

місце навіть у тих ділянках простору-часу, де немає матерії в нашому розумінні. Говорять, що ці структури задають стан фізичного вакууму. Їх називають *вакуумними конденсатами*.

На нинішньому рівні знань про природу можна впевнено сказати: властивості матерії цілком визначаються властивостями згаданих вакуумних структур. Саме тому *вивчення фізики вакууму є нам пріоритетною задачею фізики XXI в.*

Сьогодні можна зтверджувати, що, по-перше, формування конкретних властивостей елементарних частинок і їхніх взаємодій, зокрема основних із них – протона, нейтрона, електрона і нейтрино, визначається станом різних вакуумних субструктур і взаємозв'язками між ними, а по-друге, властивості макросвіту, що спостерігається – геометричні властивості Всесвіту в цілому, його великомасштабна структура, хімічний склад Всесвіту, умови виникнення в ньому біологічних об'єктів – визначаються властивостями частинок. Звідси випливає, що відносно невеликі зміни в структурі.

Специфічна безупинна деформація шаруватої структури “слабкого” вакууму, інакше кажучи, *спонтанне порушення симетрії* цієї структури приводить до того, що колективні збудження мають *власну частоту*, пропорційної параметру симетрії, у термінах *частинок – квантів – це відповідає появі в них маси спокою*. У цьому принципова відмінність квант-переносників слабких взаємодій від квантів електромагнітного поля і квантів полів сильних взаємодій.

Деформація просторово-часових шарів відповідає тому, що стан без частинок сам по собі має визначені енергетичні характеристики, і цей стан варто розглядати як матеріальний об'єкт: цей стан вакууму (одна з його підсистем) називається *хиггсовским конденсатом* (ХК) по імені вченого П. Хіггса, що вперше запропонував ввести в теорію *спонтанне порушення вакуумної симетрії*. Тепер можна сказати точніше – маса W^\pm і Z^0 бозонів визначається їх взаємодією з ХК. Енергія, запасена в ХК, характеризується так званим вакуумним зміщенням, значення якого відоме з експерименту $\langle H_{\text{BK}} \rangle = 245$ ГеВ. Взаємодії W^\pm і Z^0 бозонів із ХК досить інтенсивні, тому

величини мас цих бозонів порівнянні з енергетичним масштабом ХК: $m_v = 80,419 \pm 0,056 \text{ GeV}$, $m_z = 91,188 \pm 0,002 \text{ GeV}$.

Теорія також передбачає, що можуть існувати і колективні збудження ХК квантово-хвильового характеру, кванти цих хвильових збуджень називають хіггсовими бозонами (ХБ). Природно, маси цих бозонів також визначаються властивостями самого конденсату. Можна впевнено сказати, що експериментальне виявлення ХБ – пріоритетна задача фізики високих енергій. Її рішення планують здійснити в найближчі 5-10 років на найбільших прискорювачах елементарних частинок. У результаті виявлення і дослідження властивостей ХБ можна буде одержати унікальну інформацію про властивості ХК. Виявлення цих бозонів – ключова подія, необхідна для підтвердження усіх парадигм теорії фундаментальних взаємодій.

Як виявилось, ХК – аж ніяк не єдина підсистема, що формує властивості вакууму. Ще одна підсистема, існування якої доведене і теоретично, і експериментально, одержала назву *кварк-глюонного конденсату* (КГК). Для розуміння природи КГК важливо враховувати три обставини, по-перше, глюонні поля в силу загальних законів квантової теорії безупинно флюктуують у кожній точці простору-часу. По-друге, ці флюктуації індукують квантові флюктуації кваркових полів. По-третє, усі перелічені флюктуації сильно взаємодіють один з одним. КГК є система сильно взаємодіючих кваркових і глюонних флюктуації. Процес динамічної генерації квантових флюктуацій має цілий ряд нетривіальних особливостей, що не мають ніяких аналогів у класичній фізиці. Зараз для нас важливо, що нетривіальна структура кварк-глюонного вакууму автоматично забезпечує можливість локальної перебудови цієї структури зі зміною енергії вакууму в обмеженій ділянці простору. І такі ділянки простору справді існують у Всесвіті. Саме їх ми називаємо нуклонами!

Відповідно до сучасних уявлень, нуклон є просторово обмежена частина перебудованого КГК, стабілізована трьома валентними кварками. (Валентними називаються кварки, що несуть квантові числа протона - спін, ізоспін, електричний і

баріонний заряди). Маса нуклона визначається, по-перше, енергією, витраченої на перебудову структури вакууму, і, по-друге, енергією валентних кварків. Експеримент показує, що ці дві форми енергії чисельно вносять приблизно однаковий внесок у величину маси нуклона. У цьому – пояснення природи маси нуклонів.

Детальний теоретичний аналіз показав, що проблема природи маси насправді ще глибша. Як згадано, маси спокою кварків складають незначну частину маси нуклонів. Здавалося б, можливе існування гіпотетичного світу, у якому маси *ud* кварків дорівнюють нулю, і такий світ дуже слабо відрізнявся б від нашого світу. Однак таке твердження, цілком зрозуміле з позицій “здорового глузду”, виявляється зовсім невірним. Відмінність від нуля мас *ud* кварків є обов’язковою умовою для існування самого КГК.

Отже, за сучасними уявленнями, маса матерії формується за рахунок вакуумних ефектів на двох рівнях. Обидві вакуумні підсистеми – ХК і КГК – приймають, як бачимо, конкретну і вже експериментально досліджувану участь у формуванні властивостей матерії. Інакше – можна сказати, що сучасна фізика розкрила природу маси! Відповідь на питання про походження маси і її природу звелася до дослідження конкретних вакуумних структур. До останнього часу це питання взагалі не могло бути поставлене, а маси фігурували у фізиці як фундаментальні константи. Тепер же можна вважати доведеним, що маси різних частинок не є фундаментальними константами, а визначаються умовами існування системи в цілому і вакуумних підсистем зокрема.

Тут слід відповісти на запитання: чи узгоджується твердження “вакуум – середовище з дуже складною структурою” з нашими інтуїтивними відчуттями? Адже ми звикли сприймати навколишнє середовище як щось, що робить визначений опір рухові тіл, “гальмуючи” рух. З іншого боку, здається, що у вакуумі тіла повинні рухатися вільно, вакуум, що розуміється як порожнеча, начебто б ніякого впливу на рух робити не повинен. Тут виникає перше протиріччя зі здоровим

глуздом. Друга суперечність виявляється в тому випадку, коли ми думаємо, що з будь-яким матеріальним середовищем можна пов'язати систему відліку. Але специфіка вакуумного середовища саме і полягає в тому, що з нею виділену систему відліку пов'язати неможливо! У цьому і полягає відмінність фізичного вакууму від ефіру. Що ж стосується першого твердження – про вплив середовища на особливості руху, – то воно як таке справедливе. Цей вплив виявляється в тому, що всі частинки, з яких складаються матеріальні тіла, мають масу спокою і, отже, завжди рухаються зі швидкістю, меншою від швидкості світла. Отже, сама наявність маси в елементарних частинок є наслідок існування вакууму з нетривіальною структурою.

Зараз ми розуміємо, що властивості вакууму можуть бути змінені. Зокрема, один з таких експериментів планується здійснити в найближчі роки в Брукхейвене (США) на найбільшому прискорювачі важких іонів.

Ефект змішування кварків полягає в тому, що партнерами для розпадів кварків є кварки не тільки того ж самого, але і сусіднього покоління. Це означає, що розподіл кварків по поколіннях у таблиці в деякому змісті умовно, кожен елемент таблиці насправді повинний містити суперпозицію всіх кварків верхнього чи нижнього типу. У цій суперпозиції, звичайно, що домінує місце займає той кварк, що і фіксує номер покоління. Два інших кварки є, образно говорячи, деякими малими домішками, роль яких, однак, надзвичайно велика у формуванні властивостей речовини. За рахунок змішування поколінь дивний s кварк у дійсності не є стабільним, а розпадається по каналу: $s \rightarrow u + W^- \rightarrow u + e^- + \bar{\nu}_e$. Походження цієї формули легко зрозуміти, якщо в першому стовпці таблиці замінити d кварк на суперпозицію d і s кварків. Аналогічно розпадається і b кварк. Таким чином, змішування приводить до того, що в речовині відсутній стабільний s кварк, точніше, баріони, до складу яких входить s кварк, наприклад лямбда-гіперон: $\Lambda = uds$. Якби змішування не було, ці гіперони входили б до складу стабільних атомних ядер, утворити так звані гіперядра. Відмітна

властивість таких ядер – вони істотно важчі звичайних ядер при тому самому числі внутрішньоядерних частинок. У макросвіті існування стабільних гіперядер привело б до появи матеріальних об'єктів з майже ідентичними хімічними властивостями, але сильно розрізняються по масі. Такі об'єкти могли б сформувати зовсім нові хімічні і біохімічні структури. Світ, у якому гіперядра стабільні, сильно відрізнявся б від світу, що спостерігається. Вже одна ця обставина змушує нас самим серйозним образом поставитися до проблеми змішування, що, звичайно, є частиною загальної проблеми походження кварк-лептонних поколінь.

В існуючій теорії розщеплення спектра мас і змішування поколінь вводиться на підставі гіпотези про різну інтенсивність взаємодій частинок різних поколінь з ХК. Звичайно, ми добре розуміємо штучність цієї гіпотези – частинки, тотожні у всіх інших відносинах, чомусь, за невідомими нам причинами, по-різному взаємодіють з тим самим конденсатом. Формально математично цю гіпотезу ввести можна, однак інтерпретувати її в розумних термінах не вдається. Ясно, що тут явно виявляється неповнота наших знань про вакуум. Майже безсумнівно, що вакуум у дійсності має більш складну структуру, чим та, котра зазначена в третьому стовпчику таблиці. Нові додаткові вакуумні структури повинні, в остаточному підсумку, вирішити проблему поколінь.

СТРУКТУРА КВАРК-ГЛЮОННОГО ВАКУУМУ. Отже, відома на сьогоднішній день теорія елементарних частинок зтверджує, що *вакуум являє собою ієрархічну гетерогенну систему, що складається з підсистем трьох типів*. Перша з них – це підсистема слабкокорельованих вакуумних флуктуацій силових γ , W^\pm , Z^0 і лептон-антилептонних полів. Природа цих флуктуацій однозначно диктується принципом невизначеності, що має місце і для частинок, і для полів. Класичний вакуум (повна відсутність поля), по суті, означає наявність визначених (рівних нулю) значень польових динамічних змінних. Квантовий принцип невизначеності зтверджує, що існування визначених

значень різних (взаємодоповнюючих) динамічних змінних неможливе, звідси і поява вакуумних флуктуацій.

Друга підсистема, виявлена експериментально і детально вивчена в квантовій хромодинаміці (КХД), – система сильно зкорельованих квантових флуктуацій глюонних і кваркових полів. Відмінність другої підсистеми від першої в наступному: якщо першу підсистему можна мислити як квантовані хвилі, майже незалежні одна від одної, вони не локалізовані в просторі і поширюються у всьому просторі-часі, то флуктуації другого типу більше схожі на частинки. Вони квазілокалізовані (майже локалізовані) у просторі і в часі (на відміну від стабільних частинок, що існують на нескінченному інтервалі часу). Тому їх називають *псевдочастинками (інстантонами)*, і вони сильно взаємодіють одна з одною, утворюючи середовище, назване *кварк-глюонним конденсатом* (КГК).

Точніше кажучи, флуктуююче глюонне поле породжує глюонний конденсат, що у свою чергу індукує появу кваркового конденсату, вивільнюючи з вакууму сильно взаємодіючі і сильно скорельовані між собою кваркові флуктуації. Сукупність усіх цих кваркових і глюонних вакуумні флуктуації й утворює КГК.

Ще одна відмінність псевдочастинок-інстантонів від звичайних частинок у тім, що якщо звичайні частинки можуть переміщатися на макроскопічні відстані, то псевдочастинка може переміщатися лише на відстанях порядку розміру адрона 10^{-13} см. Найбільш вражаючою властивістю КГК є здатність псевдочастинок-інстантонів утворювати структури з різними властивостями. Кожна псевдочастинка несе заряди, що характеризують її здатність взаємодіяти з іншими псевдочастинками. У КХД ці заряди називаються хромоелектричними і хромомагнітними, у деякім відношенні вони схожі на електричні заряди і магнітні полюси. Однак кожна псевдочастинка несе один аналог магнітного полюса, на відміну від макроскопічних магнітів, що несуть два протилежних полюси одночасно. *Здатність псевдочастинок нести на собі заряди двох типів відбивається в іншій їхній*

назві – діони. Діони можуть збиратися в групи, у яких загальний хромоелектричний заряд зкомпенсований, але хромомагнітний заряд не дорівнює нулю. Ділянка простору, де відбувається таке перегрупування діонів, виявляється носієм енергії, підвищеної в порівнянні з енергією інших зон, де таке перегрупування не відбулося. Переміщення діонів можливі лише в масштабах адрону, це характеризує розмір ділянки, де і можуть перегруповуватися діони. Самі по собі діонні конфігурації з компенсованими хромоелектричними зарядами нестабільні. Однак вони стабілізуються, якщо в цій ділянці поряд з діонами існують валентні кварки. Зокрема, ***перебудовані діонні конфігурації, стабілізовані трьома валентними кварками, і являють собою протони і нейтрони***, з яких складається вся речовина. Маса протонів і нейтронів значною мірою визначається енергією перебудованих діонних структур, інакше кажучи, енергією перебудованого вакуумного середовища.

Вакуум є станом, у якому напруженість силових полів дорівнює нулю. У класичній фізиці нульовій напруженості відповідає нескінченна кількість ненульових потенціалів. Потенціали ж, що зіставляються вакууму КХД, мають дуже складну математичну структуру. Вони навіть не зобов'язані бути неперервними функціями і можуть мати на деякій гіперповерхні особливості, які можна розбити на класи. З погляду топології глюонний вакуум вироджений: нульовим значенням напруженості глюонного поля відповідає нескінченне число потенціалів. Кожна з вакуумних конфігурацій потенціалів відрізняється спеціальною характеристикою – топологічним числом, але має ту саму енергію. Фізики твердять, що глюонний вакуум являє собою нескінченно вироджену за енергією систему топологічно різних вакуумних станів, що взаємно виділені нескінченно тонкими і нескінченно високими енергетичними бар'єрами. З класичної точки зору бар'єри між різними топологічними станами непроникні, і наш світ може існувати лише в одному з таких станів з визначеним топологічним числом. У квантовій теорії нескінченно тонкі і високі бар'єри проникні, і щирий квантовий вакуум є об'єднанням всіх

можливих класичних вакуумів. Установлено, що кварк-глюонний конденсат виникає внаслідок квантових процесів тунелювання між різними топологічними станами розшарованого простору-часу. Саме такі уявлення про вакуум експериментально підтверджені.

Інакше кажучи, той вакуум, у якому ми живемо – усього лише один з можливих, а є й інші вакуумні стани, в яких процесами тунелювання охоплюється інше число топологічних конфігурацій і там є інші розподіли імовірностей по конфігураціях.

Квантові флуктуації глюонного поля, що виникають у процесі тунелювання, дуже схожі на звичайні частинки – своєрідні квазілокалізовані згустки полів. Але, на відміну від звичайних частинок, вони можуть переміщатися лише в малих масштабах, порядку розмірів адронів. У цьому змісті є щось родинне між такою системою квантових флуктуацій, тобто системою псевдочастинок, і атомами у вузлах кристалічних ґраток у твердому тілі. Адже відомо, що атоми там не можуть переміщатися в кристалі, а здійснюють лише малі коливання навколо положення рівноваги.

Третьою вакуумною підсистемою є описаний вище хіггсовский конденсат.

Теорія пророкує, що зазначені три вакуумні підсистеми впливають на властивості один одного, утворюючи ієрархічну систему. Конкретно, хіггсовский конденсат впливає на властивості нульових вакуумних коливань різних фізичних полів, формує їхні властивості й у визначеному змісті їх ініціює і перебудовує. Існування ненульових мас кварків, зформованих взаємодією кваркових полів із ХК, має принципове значення для формування сильнозкорельованих квантових флуктуацій глюонних і кваркових полів, тобто КГК, що складаються із псевдочастинок-діонів. Якби ХК був відсутній (тобто кварки мали б нульову масу спокою), не було б і КГК, флуктуації глюонних полів були б сильно пригашені. Справа в тім, що тільки відмінні від нуля маси кварків роблять помітними стани глюонного поля з різними топологічними квантовими числами. Це і приводить до необхідності розгляду суперпозицій

топологічних станів, охоплених процесами тунелювання, як основних елементів вакууму КХД. Нетривіальність ситуації полягає в тому, що характерна енергія ХК у 100 ГеВ задає масштаб відстаней і часів, на яких формуються дефекти шаруватої структури, що визначають властивості слабких взаємодій. Характерний же масштаб КГК (другої вакуумної підсистеми) приблизно в 1000 разів менший – 100 МеВ. Однак структури на цьому масштабі мають місце лише остільки, оскільки є структури в масштабі 100 ГеВ – так виникає ієрархічна система із самоузгодженими властивостями. Стійкість структури при 100 ГеВ (третья вакуумна підсистема) визначається, у тому числі, і ефектами взаємодії хігсовського конденсату з нульовими коливаннями, тобто стійкість третьої підсистеми залежить від її взаємодії з першою підсистемою. Але існує і зворотний зв'язок – властивості першої підсистеми залежать від її взаємодії з третьою. Таким чином, в ієрархічній вакуумній системі існують елементи тільки з взаємопогоджуваними і взаємообумовленими властивостями.

Взаємозв'язок ієрархічних вакуумних структур лежить в основі сучасної теорії генерації баріонної асиметрії Всесвіту (нерівності чисел баріонів і антибаріонів) у процесі його еволюції. Основний результат цієї теорії полягає в тому, що баріонна асиметрія речовини Всесвіту виступає як наслідок топологічної асиметрії вакууму.

Цей варіант моделі цікавий не тільки тому, що пророкує більш складну структуру вакууму, але і тому, що подібна структура тісно зв'язана з однією з найбільш фундаментальних концепцій теоретичної фізики високих енергій – концепцією суперсиметрії (СУСИ). Обговоримо цю концепцію – найбільше яскраве досягнення теоретичної фізики кінця ХХ в. – докладніше.

КОНЦЕПЦІЯ СУПЕРСИМЕТРІЇ. Як уже згадано, всі квантові поля діляться на два класи – поля матерії, кванти яких мають напівцілий спіні $J=1/2$ і підкоряються принципу Паулі, і силові поля, кванти яких мають цілий спіні $J=1$. Окремо у цьому списку

представлене скалярне хігсовське поле, що здатне випадати в конденсат і також має цілий спіні $J=0$. Основна ідея *суперсиметрії* – в однозначній відповідності між кількістю типів частинок з напівцілими і цілими спінами, чи, інакше кажучи, між ферміонами і бозонами. У таблиці, де перераховані об'єкти існуючої теорії елементарних частинок, такої відповідності немає. Концепція СУСИ припускає, що кожна з частинок з цілим спіном повинна мати свого суперпартнера з напівцілим спіном і навпаки. У рамках тієї гіпотези передбачається, що, крім фотонів, глюонів, W^\pm і Z^0 бозонів зі спіном $J=1$, повинні існувати частинки зі спіном $J=1/2$, названі фотіно, глюіно, віно і зіно. Аналогічно, крім кварків, електронів і нейтрино зі спіном $J=1/2$, повинні існувати скварки, селектрони і снейтрино, що мають спіні $J=0$ (приставка “с-” у назвах суперпартнерів відомих частинок і вказує на їхній статус скалярних суперпартнерів). Хігсовским бозонам зі спіном $J=0$ повинні відповідати суперпартнери хігсіно зі спіном $J=1/2$.

На перший погляд, суперсиметрія приводить до значного ускладнення теорії, і в ситуації, коли жоден із суперпартнерів експериментально не знайдений, припущення про суперсиметрію Природи може здатися дивним і не виправданим. Існують, однак, дуже глибокі теоретичні причини, що виправдують цю гіпотезу.

Перший аргумент на користь суперсиметрії полягає в тому, що розв'язки рівнянь у квантовій суперсиметричній теорії при високих енергіях мають властивість стійкості щодо врахування малих ефектів, пов'язаних з перебудовою фізичного вакууму. Природно припустити, що врахування малих додаткових вакуумних ефектів при аналізі властивостей взаємодіючих високоенергетичних частинок повинно приводити до малого перекручення передбачень. Однак у несуперсиметричних теоріях ця властивість вводиться і закріплюється тільки шляхом ретельного узгодження (тонкого підстроювання) констант теорії. Стійкість передбачень Суси-теорій є їхньою внутрішньою властивістю.

Друга причина має, у деякому сенсі, якісний характер – експериментальні дані свідчать про існування в природі як

бозонів, так і ферміонів. Тому нам хотілося б мати теоретичний принцип, в рамках якого співіснують частинки з різними спінами на рівноправній основі. СУСИ і є принципом, автоматично забезпечуючим рівноправний статус частинок з різними спінами.

Третій і, можливо, найголовніший аргумент на користь СУСИ – саме в суперсиметричних теоріях удається зформулювати геометричну інтерпретацію усіх фундаментальних частинок і усіх фізичних взаємодій, включаючи гравітаційну, у рамках єдиного суперполя.

Наявна теорія елементарних частинок установила, а експеримент підтвердив важливу властивість фізичних взаємодій – залежності інтенсивності взаємодій від енергії й імпульсу, переданих у процесах зіткнень одних частинок з іншими. Обговоримо ці залежності при переданих енергіях, великих 100 ГеВ, тобто при енергіях, великих мас W^\pm і Z^0 бозонів. На масштабі 100 ГеВ слабка взаємодія вже не є слабкою в буквальному значенні слова, за інтенсивністю вона займає проміжне місце між сильною і електромагнітною. Назва “слабка” зберігається з історичних причин: уперше вона була виявлена при низьких енергіях, де вона істотно ослаблена через велику інертність квантів силового поля. При високих енергіях маси W^\pm і Z^0 бозонів мало позначаються на властивостях слабких взаємодій.

Ґрунтуючись на результатах експериментів у досягнутому діапазоні енергій, теоретичний аналіз взаємодій при енергіях понад 100 ГеВ, виявив межі, до яких прагнуть інтенсивності взаємодій. Важливо, що факт залежності інтенсивності взаємодії від величини переданої енергії не має аналога в класичній фізиці. Наприклад, у класичній електродинаміці, де інтенсивність взаємодії визначається електричним зарядом частинок, елементарний заряд, що дорівнює модулю заряду електрона, має статус фундаментальної константи. У квантовій же теорії електричний заряд частинок – учасників взаємодій – стає функцією переданої енергії чи що те ж саме, функцією відстані між частками (частинки з великими енергіями здатні

зблизитися на менші відстані). Пояснення цьому дає фізика вакууму, а точніше – фізика однієї із вакуумних підсистем – нульових коливань електрично заряджених квантових полів. Справа в тім, що заряджені частинки впливають на нульові коливання, які також несуть електричні заряди, і змінюють стан цих коливань. Образно кажучи, кожна частинка оточується хмарою віртуальних квантів, що виникають з вакууму й ідуть у нього в процесі взаємодії одних частинок з іншими. Цей процес – витягу з вакууму “хмари” віртуальних квантів і оточення цією “хмарою” зарядженої частинки – називається **поляризацією вакууму**. Поняття ефективного заряду, тобто заряду, що залежить від переданої енергії, стосується системи “частинка + поляризований вакуум”. Кожний з відомих типів взаємодій характеризується своїм ефективним зарядом. Ефективний заряд електромагнітних взаємодій росте із ростом переданої енергії, а ефективний заряд сильної і слабкої – зменшується. Причому ефективний заряд сильної взаємодії зменшується швидше, ніж слабкої.

Отже, стандартна теорія електромагнітних, сильних і слабких взаємодій демонструє тенденцію до зближення їх інтенсивностей при надвисоких енергіях. Перша оцінка діапазону, де інтенсивності приблизно рівні, була отримана в рамках найпростішого варіанта СМ, це орієнтовно 10^{15} ГеВ. Однак ефективні заряди в цій точці не збігалися точно, слабкий ефективний заряд змінювався дещо швидше, ніж це було потрібно для рівності всіх зарядів в одній точці. Гіпотеза СУСИ виправила цю ситуацію. Якщо маси суперпартнерів усіх відомих частинок не більш 1 ТеВ, то суперпартнери рівноправно беруть участь у формуванні ефективних зарядів усіх взаємодій (крім гравітаційного). Саме ця рівноправність забезпечує точну збіжність ефективних зарядів до одного і того ж значення в строго фіксованій точці на енергетичній шкалі, що відповідає передачі енергії 10^{16} ГеВ. При таких енергіях уже немає змісту говорити про три різні взаємодії, ясно, що вони являють собою різні прояви певної єдиної взаємодії.

Теорію єдиної взаємодії виявилось можливим побудувати на основі представлень про універсальне розшарування простору-часу. Центральна ідея Великого Об'єднання взаємодій полягає в тому, що є одна-єдина шарувата структура простору-часу, але її універсальність виявляється тільки у взаємодіях при надвисоких енергіях (тобто при дуже маленьких просторово-часових масштабах), де спонтанні деформації цієї структури не є визначальними для властивостей цих взаємодій. Насправді ж ця структура істотно деформована, що і виявляється в діапазоні низьких енергій. Внаслідок спонтанних деформацій система просторово-часових шарів розбивається на три різні підсистеми, усередині кожної з яких шари упаковані однаково, але в різних підсистемах по-різному. Уже починаючи з проміжних масштабів (між масштабом Великого Об'єднання і коллайдерними енергіями) виявляються розходження у властивостях підсистем, тобто єдина взаємодія розщеплюється на електромагнітне, слабе і сильне.

При надвисоких енергіях об'єднуються не лише силові поля, але і поля матерії: зникають розходження між кварками і лептонами. Ці частинки здобувають статус просто різних станів єдиного кварк-лептонного поля, універсально взаємодіючого з єдиною шаруватою структурою простору-часу. Розбивка єдиної шаруватої структури на три підсистеми супроводжується втратою еквівалентності у властивостях різних компонентів кварково-лептонного поля. Єдине кварк-лептонне поле розбивається на кваркові і лептонні поля, перше з них відчуває структуру всіх трьох підсистем, а друге виявляється нечутливим до хромодинамічної підсистеми. Образно кажучи, кварки і лептони існують у різних шарах простору-часу. Для співіснування в загальній шаруватій структурі їм необхідно обмінятися енергією, більшою 10^{16} GeV.

На наступному етапі розвитку СУСИ, як показали результати, математика тимчасово відірвалася від фізики. Була поставлена задача: відмовитися від поділу всіх полів на суперполя, що характеризують супергеометрію, і зовнішні стосовно неї суперполя, які описують вкладену в супергеометрію речовину. Так була

зформульована задача про надання всім полям чисто геометричної інтерпретації в рамках концепції викривлено-розшарованого суперпростору (ВРС). Власне кажучи, ця програма зведення всіх полів тільки до локальних проявів зпотворень геометрії (програма створення єдиної геометричної теорії поля) ставилася ще Айнштайном. Надалі детальне обговорення цієї ідеї, проведене Калуцею і Клейном, привело до програми побудови фундаментальної фізики. Саме СУСИ відкрила шлях до її виконання.

Тепер питання звелось до класифікації всіх можливих типів геометрій викривлено-розшарованих 4-мірних просторово-часових розмаїть і до вибору з них тих, які відповідають світу, що спостерігається. Виявилось, що таких типів геометрій, названих N-супергравітаціями, усього 8. Але серед усіх таких супергравітацій, включаючи і найширшу (вміщує найбільше число полів), не знайшлося жодної, котра описувала б властивості спостережуваного світу, при переході до діапазону низьких енергій. Як виявилось, подібну невдачу не можна вважати випадковою, і тому не можна сильно засмучуватися.

СУПЕРСТРУНИ. Насамперед щодо походження терміна “суперструна”. Порівняємо дві найпростіших коливальних системи: фізичний маятник, що представляє собою тягарець на нитці певної довжини, і закріплену з двох кінців струну з фіксованою довжиною. Відомо, що коливання фізичного маятника відбуваються зі строго визначеною частотою, у цьому розумінні маятник є реалізацією однієї коливальної моди (визначеного типу коливань). Струна ж може коливатися з різними частотами, строго кажучи, їх нескінченно багато, але їхній набір не випадковий, а цілком визначається довжиною струни і матеріалом, з якого вона виготовлена. Всі можливі частоти коливань кратні натуральним числам, починаючи з деякого мінімального числа. У цьому сенсі струна реалізує нескінченне число коливальних мод. Уявимо тепер, що і маятник, і струна квантові, тобто підкоряються законам мікросвіту. Тоді маятник буде зазнавати нульових коливань з

однією конкретною частотою, а струна – нульові коливання на всіх можливих частотах. Квантове ж поле є континуальне узагальнення коливальної системи типу маятника, лише коливання відбуваються в кожній точці простору-часу. Суперструна, що поєднує нескінченне число полів, є континуальним і суперсиметричним узагальненням звичайної струни.

Що ж показало вивчення багатовимірних геометрій, що задаються суперструнами? Було встановлено, що спектр коливань суперструни, тобто набір суперполів, охоплюваний поняттям суперструни, розділяється на два класи. Перший містить скінченне число суперполів, власні частоти коливань яких набагато менше від так званої планківської частоти. Зауважимо, що власні частоти коливань після квантування поля пропорційні масі спокою квантів полів. Отож, суперполя першого класу відповідають квантам з масою спокою, набагато меншою $M_{nl}=2,2 \cdot 10^{-5} \text{ г.} = 10^{19} \text{ ГеВ.}$ Цей параметр, що відокремлює перший клас від другого, формується з відомих фундаментальних констант: $M_{nl} = (hc/2\pi G)^{1/2}$, де h – стала Планка, елементарний квант дії; G – гравітаційна стала, c – швидкість світла.

Другий клас суперполів – компонентів суперструни – містить нескінченне число суперполів, але маси спокою відповідних квантів обов'язково перевищують планківське значення M_{nl} . Тут також видна аналогія зі звичайною струною – подібно до того, як усі відомі частоти коливань пропорційні ряду натуральних чисел, маси важких суперполів утворюють послідовність $M_{cn}=n \cdot M_{nl}$, n – натуральне число. З моменту Великого Вибуху у Всесвіті не було умов, в яких частинки могли б придбати енергію, більшу за планківську, тому суперполя другого класу неспостерігаються чи є об'єктами, що важко спостерігаються. Перевірити теорію суперструн можна лише в дослідженнях маломасивних суперполів першого класу. У цьому випадку теоретичну фізику очікував великий успіх. Виявилось, що серед маломасивних мод коливань 10-вимірної суперструни після компактифікації додаткових просторово-

часових вимірів наявні всі поля, які спостерігаються сьогодні в експерименті і передбачені теоріями Великого Об'єднання. Є надія, що подальший розвиток теорії дозволить у її рамках пояснити не лише число типів частинок, що спостерігаються, але і значення їхніх мас.

Потрібно особливо підкреслити, що теорія суперструн вирішує і проблему поколінь, і проблему виділеного статусу нейтрино. Є і специфічні передбачення теорії суперструн: 1) існування суперпартнерів усіх відомих частинок; 2) включення в теорію деяких нових типів кварків і лептонів, що не вписуються в стандартну схему кварк-лептонних поколінь SM; 3) поява нових типів розшарувань простору-часу (нових калібровочних полів, що описують розшарування зі спонтанно порушеною симетрією). Тому, насамперед, перевірка теорії суперструн зводиться до перевірки саме цих передбачень. Власне кажучи, ця робота уже ведеться на сучасних прискорювачах елементарних частинок.

Теоретичне вивчення суперструн інтенсивно продовжується вже протягом близько 15 років. За ці роки СУСИ одержала статус пріоритетного напрямку досліджень, оскільки відрізняється безпрецедентною за широтою постановки проблем і претендує на повне пояснення найбільш глибоких таємниць природи.

Айнштайн уперше звернув увагу на те, що на визначних етапах розвитку теорії питання “Як улаштований світ?” змінюється питанням “Чому він улаштований саме так, а не інакше?”. До початку активної роботи у фізиці А. Айнштайна питання “Як?” зводилося до питання про діючі між об'єктами сили, а постановка питання “Чому?”, за Айнштайном, насамперед, повинна передбачати вивчення геометрії. Сьогодні ситуація трохи інша: ми розуміємо, що усі взаємодії мають геометричну природу, так що питання “Як?” відповідає вибору геометрії, яка адекватно описує світ, що спостерігається. З цього погляду історія розвитку суперструн і є відповідь на питання “Як?": джерелом взаємодій є багатовимірні геометрії, що задаються нескінченним числом полів, об'єднаних у суперструну.

А що ж тепер значить питання “Чому?” У пошуках змісту цього питання теоретики звернули увагу на те, що, взагалі кажучи, існує не одна теорія суперструн, яка відтворює при низьких енергіях властивості світу, що спостерігається. Спочатку здавалося, що це різні теорії, але в останні 10 років був отриманий дивний результат: усі теорії суперструн, які відтворюють властивості світу при низьких енергіях, еквівалентні не тільки фізично, але й математично. Фактично є лише одна теорія суперструн, лише записувана по-різному. Різні представлення однієї і тієї ж теорії переводяться взаємно тотожними математичними перетвореннями, а об’єкти теорії ті самі. Що ж означає ситуація, коли ті самі об’єкти допускають різні представлення? Це означає, що описувана цими об’єктами, ситуація характеризується деякою симетрією.

Важливість питання про симетрію законів природи щодо різних перетворень (фізичний зміст яких обов’язково має бути встановлений!) підтверджується усією історією теоретичної фізики. Наприклад, можливість вивчення законів природи в довільній системі відліку визначається симетрією цих законів щодо загальних перетворень координат 4-мірного простору-часу. Гравітація, як теорія, і виникла як динамічна реалізація цієї симетрії в припущенні про її локальність. Математична симетрія теорії гравітації відбиває фізичний зміст принципу локальної еквівалентності гравітації і полів інерції. У нескінченно малій околиці просторово-часової точки гравітаційне поле можна замінити силами інерції, перейшовши до системи відліку, у якій гравітаційне поле формально відсутнє, але є сили інерції. Залишаючись у цій же СВ, але переходячи до іншої точки, бачимо, що гравітаційне поле виникає, однак у новій точці простору-часу є можливість переходу і до нової системи відліку, у якій гравітаційне поле знову зникає. Можливість проведення таких перетворень у кожній точці простору-часу диктує цілком визначений вид фундаментальних рівнянь теорії. Це й означає, що симетрія визначає фізичну динаміку. Ще один приклад – симетрія електромагнітних, слабких і сильних взаємодій щодо вибору потенціалу (калібровочна симетрія). Супергравітація

поєднує просторово-часові і калібровочні симетрії в єдину суперсиметрію, що відповідає ІРС. Теорія суперструн стверджує, що ця симетрія не цілком локальна, а має місце на деякій малій поверхні, що замітається при русі струни в багатовимірному суперпросторі. Іншими словами, питання про геометрію в сучасних теоріях зводиться до питання про симетрію.

І от тепер ми виявляємо, що крім просторово-часової симетрії теорія суперструн передбачає ще одну симетрію неясного походження. Це симетрія різних представлень теорії суперструн, що відповідають реальному світу, щодо перетворень переходу від одного представлення теорії суперструн до іншого. Який зміст цієї симетрії, які властивості Світу вона відбиває – ці фундаментальні питання стоять тепер перед так званою М-теорією суперструн, але поки що їхнього розв'язку немає. Є лише відчуття, що дослідження цих питань приведе до чергового прориву в розумінні світу. Кожна симетрія пов'язана з динамікою, симетрія задає геометрію, а геометрія визначає взаємодію. Тепер об'єктом досліджень в М-теорії стала нова симетрія невідомої природи і не можна виключити, що цей тип симетрії породжує нову динаміку, нові взаємозв'язки у природі.

Відомості про нові динамічні закони можуть принципово змінити наші погляди на світ. Згадаємо, наприклад, про існування 4-й проблеми СМ – динамічного опису КГК у реальному часі. Зіштовхнувшись з нею, ми визнали, що наявних представлень про квантову динаміку недостатньо для опису реальності, потрібні нові динамічні принципи. Тепер це, скоріше, уже питання експерименту. Можливо, що теорія суперструн з новою симетрією має відношення не тільки до суперструн, але, можливо, вона приведе нас до зміни уявлень про динаміку фізичних об'єктів і фактори, що її визначають. Якщо такі фактори є, вони можуть проявитися не тільки в діапазоні надвисоких, але й у діапазоні енергій, доступних уже тепер. Не виключено, що принципи нової динаміки виявляться досить універсальними, і їх можна буде використовувати і для опису інших складних структур. Ці обставини пояснюють ту увагу, що приділяється

сьогодні теорії суперструн. До речі, удалося з'ясувати й умови, при яких теорія суперструн забезпечує неминучу компактифікацію вихідного 10-вимірнього розмаїття до 4-мірного; компактифікація стала внутрішньою властивістю теорії, а не одним з можливих розв'язків її рівнянь.

Що ж дає теорія суперструн для наших уявлень про вакуум? Теорія недвозначно стверджує, що вакуум складається з дуже великого числа підсистем, властивості яких формуються у різних просторово-часових масштабах; характерні масштаби вакуумних структур заповнюють величезний енергетичний діапазон – від масштабу квантової гравітації – планківської енергії 10^{19} ГеВ до типової енергії КХД $\sim 0,1$ ГеВ. СМ у вищеописаному виді передбачає, що усередині цього діапазону повинна бути і структура з масштабом ~ 100 ГеВ. Теорії об'єднання взаємодій, що впливають з теорії суперструн, пророкують, що повинно існувати ще досить велике число проміжних структур, наприклад у масштабі об'єднання трьох взаємодій $\sim 10^{16}$ ГеВ, в масштабі порушення суперсиметрії $\sim 10^3$ ГеВ. Напевне і між ними можуть бути структури, що відповідають додатковим розшаруванням. Навіть на прикладі трьох вакуумних підсистем видно, як тісно взаємообумовлені їхні властивості. Суперструнна ж теорія передбачає дуже складну ієрархічну структуру вакууму з великою кількістю взаємодіючих і взаємообумовлених підсистем. Властивості нашого світу, що спостерігається, формуються внаслідок їхнього ретельного узгодження і взаємного підстроювання. Досліджувати всі ці взаємозв'язки, вказати їхні наслідки для світу, що спостерігається, установити роль кожної підсистеми – істотна частина суперструнної програми. З цього погляду можна сказати, що фізика, як наука, лише починається.

9. Фізика ЕЧ і космологія

“Створення й експериментальна перевірка Стандартної Моделі елементарних частинок відкрили нові роздоли космології. З’явилася можливість у рівняння ізотропного Всесвіту (у праву частину рівнянь Айнштайна, що містить тензор енергії-імпульсу квантових полів) додати відому інформацію про властивості частинок і взаємодій. Космологічні розв’язки рівнянь Айнштайна охолодження нестационарний Всесвіт, в якому при розширенні остигання плазми супроводжується декількома перебудовами структури фізичного вакууму.

Як уже відзначалося, теорія розширеного Всесвіту, передбачає наявність сингулярності – точки на часовій шкалі, в якій щільність енергії плазми, її температура прямують до безконечності, як і кривина простору-часу. Математично момент сингулярності відповідає моменту народження Світу. Продовжити ці космологічні рішення за сингулярну точку математично неможливо. У рамках цієї теорії в точці сингулярності Всесвіт народжується разом із речовиною. Зміни кількості речовини надалі незначні і можуть бути враховані в рамках теорії елементарних частинок. Проблема першої миті життя Всесвіту – це окрема космологічна проблема, що так і називається – проблема народження Всесвіту. Космологічна теорія, у якій враховуються добре відомі властивості частинок і взаємодій у 4-мірному просторі-часі, починається з того моменту, коли температура космологічної плазми приблизно дорівнює 1 ГеВ. Це відповідає зоні енергій частинок, що адекватно описується СМ. На основі відомих експериментальних даних можна бути впевненим, що розширення й узагальнення потрібні для опису явищ, що відбуваються при енергіях, істотно більших від 1 ГеВ.

Що ж таке енергія в 1 ГеВ? У Всесвіті температура в 1 ГеВ досягається через 10^{-14} с від моменту космологічної сингулярності. Однак теорії, що описувала б еволюцію від сингулярності, $t=0$, до межі застосування СМ, $t=10^{-14}$ с немає. З погляду здорового глузду здається, що особливих проблем у космології немає, “інтуїція підказує”, що можна легко

знехтувати малою величиною 10^{-14} с. Здавалося б, що особливого могло відбутися за цей малий проміжок часу? У цьому міркуванні є досить простий парадокс: під час обговорення еволюції об'єктів ми інтуїтивно користуємося так званим *біологічним часом*, що має свій власний масштаб. Він визначається до часу порядку 100 років, що відповідає тривалості людського життя. Такі масштаби потрібні для класифікації подій, які відбуваються усередині нас, макроскопічних істот, що складаються з частинок із невеликими енергіями – порядку декількох електрон-вольтів. Але цю шкалу часу неможливо використовувати для обговорення явищ, які відбуваються у Всесвіті при дуже високих густинах і температурах. Чим вища щільність плазми і її температура, тим частіше відбуваються взаємодії частинок одна з одною. Про тривалість проміжку часу слід говорити саме на підставі числа подій, які відбулися за цей час. Можна бути упевненим, що за час від $t=0$ до $t=10^{-14}$ с подій відбулося навіть більше, ніж від $t=10^{-14}$ с до наших днів. До цього висновку нас приводить сучасна теорія, точніше, її розумна екстраполяція в діапазоні високих енергій. Тому проблема народження Всесвіту, його еволюція від сингулярності до енергій порядку 1 GeV являє собою окрему і дуже серйозну наукову проблему. У цей проміжок часу і зформувалися основні ключові властивості спостережуваного Всесвіту. В подальший час лише приймало конкретні форми все те, що потенційно було закладене до моменту часу, який відповідає енергіям у 1 GeV. Таку реконструкцію подій можна провести досить повно на основі наявної теорії.

Фазові переходи в космологічній плазмі і фізичному вакуумі.

Для космологічної плазми температура $T_c=100$ GeV (приблизно 10^{15} К) є виділеною, у певному змісті навіть критичної. Справа в тім, що при дуже високих температурах, великих T_c , існування ХК енергетично не вигідне. Геометрична структура розшарувань простору-часу, що відповідають слабкій взаємодії, при таких температурах не

деформована. При відсутності деформацій усі частинки космологічної плазми, не мають маси спокою. Такий стан плазми (без ХК) названо високосиметричним. Однак при зниженні температури до T_c цей стан стає нестійким, тому у вакуумі обов'язково утвориться К, як наслідок, істотно змінюються властивості елементарних частинок і термодинамічні властивості плазми в цілому. Новий стан плазми названо низкосиметричним. Тепер частинки вже мають ненульові маси спокою. Правда, значення цих мас відрізняються від тих, котрі ми вимірюємо в сучасному експерименті. Це пов'язано з тим, що ХК, який виник у високотемпературній плазмі при $T=T_c$, ще далекий від того стану, якого він набуває при температурах, близьких до нуля. Маси ж частинок, як знаємо, виникають унаслідок взаємодії квантових полів із ХК.

Описані зміни стану вакууму і плазми елементарних частинок, що відбуваються при $T=T_c$, називаються **релятивістським фазовим переходом** (РФП) з високосиметричної фази в низкосиметричну. Такі процеси РФП відіграють ключову роль у формуванні властивостей Всесвіту, що спостерігаються. Однак ця картина РФП з утворенням ХК є неповною. У ній враховуються ефекти, які порушують симетрію розшарувань простору-часу, що відповідають електромагнітним і слабким взаємодіям, але не містяться дуже важливі фізичні явища, пов'язані з квантово-топологічними властивостями розшарувань простору-часу.

На щастя, є можливість детально вивчити квантово-топологічні властивості розшарувань на прикладі іншого РФП, про неминучість якого вірогідно відомо. Мова йде про фазовий перехід у кварк-глюонній плазмі при температурах порядку 200 МеВ.

ТЕМНА МАТЕРІЯ. Якби СМ вичерпним чином описувала світ елементарних частинок, то основними носіями маси в сучасному Всесвіті були би баріони, а на електрони, фотони і безмасові нейтрино приходилася б дуже мала частина загальної маси й енергії Всесвіту. Основна частина баріонної компоненти

світу, мабуть, зібрана в зорях, тому, здавалося б, досить перерахувати їх і виміряти їхню масу в деякій доступній ділянці Всесвіту, розділити її на об'єм і так знайти середню густину речовини у Всесвіті. Вона ж відповідно до рівнянь Айнштайна, визначає швидкість розширення Всесвіту (сталу Габбла). Далі залишається порівняти експериментально знайдене значення густини з величиною експериментально виміреною сталою Габбла і переконатися в правильності цих уявлень про Світ. Але, виявляється, ці експериментальні дані взаємно не узгоджуються. Отже, повинні існувати деякі додаткові носії енергії, що вислизують від прямих астрономічних спостережень в оптичному і радіодіапазонах. Ці загадкові невидимки, природа яких дотепер невідома, і одержали назву *темної матерії*.

Про існування темної матерії свідчить не лише описаний тут космологічний тест, але й цілий ряд інших фактів астрономії. До них можна віднести деякі особливості динаміки зір усередині галактик, динаміки галактик в скупченнях і, нарешті, динаміки скупчень у надскупченнях. Фундаментальне значення має те, що швидкість руху об'єктів в гравітаційно-зв'язаній системі визначається величиною гравітаційного поля, а ця величина, у свою чергу, залежить від кількості об'єктів, що входять у систему, які визначає швидкості руху зір у самоузгодженому гравітаційному полі. *Для нашої Галактики гравітаційне поле в середньому мало б бути приблизно в два рази сильніше, ніж поле, обчислене за розподілом зір.* Оскільки закони теорії гравітації перевірені з високою точністю у лабораторних експериментах і на рівні планетних систем, то немає основ припускати, що в масштабах галактик діють якісь інші закони гравітації. Тому в нас залишається лише припустити, що половина речовини Галактики перебуває в невидимому стані, тобто складається з таких частинок, що не можуть випромінювати фотони (назва “темна матерія” саме і відображає її нездатність взаємодіяти з фотонами). Аналогічні *дослідження на рівні скупчень галактик показують, що в скупченнях частка невидимої речовини складає вже близько 90%, на рівні на рівні надскупчень –*

понад 95%, при цьому на частку баріонної компоненти припадає лише від 3 до 5%. Цей факт означає, що **насправді ми не знаємо, з чого складається Всесвіт**. Відомі енергоносії – це лише кілька відсотків маси й енергії Всесвіту. Нам відома лише загальна закономірність: чим менший масштаб структури, тим менше в ній темної матерії (наприклад, до складу планети Земля темна матерія, очевидно, узагалі не входить). Чим більший масштаб структури, тим більшу роль відіграє темна матерія, у найбільших структурах – у надскупченнях галактик – звичайна речовина є лише злегка помітним (за масою) компонентом, розпилим у величезній хмарі матерії невідомої природи.

Проблема встановлення фізичної природи темної матерії (ТМ) – це, очевидно, найактуальніша проблема теоретичної й експериментальної космології. Ця проблема дуже складна і далека від вирішення. Єдине, що сьогодні можна зтверджувати, – **розв'язок треба шукати у фізиці вакууму й елементарних частинок**. Як уже відзначалося, наявна теорія елементарних частинок (СМ) не справляється з цією задачею. Спроба зберегти СМ можлива тільки в рамках гіпотези, що ТМ має все-таки баріонну природу, наприклад перебуває у формі важких темних планет, невидимих в астрономічних спостереженнях. Ця гіпотеза, однак, вступає в протиріччя з одним із найбільш надійних результатів теоретичної і спостережної космології. Справа в тім, що від концентрації баріонів залежить результат нуклеосинтезу.

Перший крок за межі СМ, безпосередньо пов'язаний із проблемою темної матерії, – звертання до гіпотези масивних нейтрино. Однак, дані про сталу Габбла жорстко обмежують можливі значення маси нейтрино, усередненої по трьох нейтринних поколіннях: середня нейтринна маса не може перевищувати 10 еВ. У масштабах фізики елементарних частинок це дуже мала величина, найближчий до нейтрино за масою електрон приблизно в 50 000 разів важчий. І породжує питання про фізичну природу такого сильного відщеплення нейтрино в спектрі мас елементарних частинок.

ГІПОТЕЗА МАЙОРАНІВСЬКИХ НЕЙТРИНО. Пошуки відповіді на це питання привели до розширення СМ, включення в теорію частинок нових гіпотетичних об'єктів –важких майоранівських нейтрино. Ці частинки так само слабо взаємодіють з іншими частинками, як і звичайні нейтрино, але мають дуже велику (понад 100 ГеВ) масу спокою, до того ж є нестабільними. Принципове значення в розробці цієї гіпотези має специфічна внутрішня властивість квантової теорії поля, як логіко-математичної системи: квантові поля звичайних нейтрино “відчувають” існування в просторі-часі квантових полів важких нейтрино. Реакція звичайних нейтрино на існування своїх важких аналогів виражається в тому, що звичайні нейтрино “не бажають” більше залишатися безмасовими, вони здобувають хоч і малу, але відмінну від нуля масу спокою. У теоретичних моделях описаного типу звичайно передбачається, що маса спокою звичайних нейтрино лежить в інтервалі 1-10 еВ.

Фізика масивних нейтрино дуже різноманітна і цікава. Послідовна розробка цієї теорії природно приводить до гіпотези про існування нових взаємодій (тобто нових типів розшарувань простору-часу), до необхідності дослідження цієї гіпотези в рамках суперструнних і преонних програм, в яких нові масивні нейтрино і нові взаємодії виникають як наслідок *найфундаментальніших* законів природи. Гіпотези про нові важкі нейтрино, про малі маси звичайних нейтрино, про відповідні нові взаємодії дуже добре укладаються в наслідки з теорії суперструн.

Однак гіпотеза про те, що маса ТМ цілком міститься в масивних нейтрино, уже сьогодні вступає в суперечність із даними про великомасштабну структуру Всесвіту. Тут не обов'язково маса спокою нейтрино мала б бути нульовою, вона просто повинна бути істотно меншою 10 еВ, допустиме значення 1 еВ. Необхідно враховувати: якщо основна частина маси Всесвіту перебуває у стані ТМ, то гравітаційна нестійкість, що приводить до утворення гравітаційно-відокремлених структур, насамперед у ній і повинна розвиватися. Звичайно ж

баріонна речовина, якої дуже мало порівняно з ТМ, здатна лише реагувати на неоднорідності ТМ. Але ТМ стає нестійкою, якщо тиск у ній, що перешкоджає її гравітаційному стисканню, стає малим (така темна матерія називається холодною). Нейтрино не може бути холодною темною матерією. Справді, маси звичайних стабільних нейтрино не можуть перевищувати 10 еВ, саме це значення визначає величину температури, нижче якої нейтрино стають повільними нсрелятивистськими частинками. Тільки при низьких температурах нейтринний газ, що має при цьому малий тиск, є здатним до гравітаційної фрагментації. Однак температура порядку енергії спокою нейтрино близька до температури рекомбінації, тому нейтринний газ гравітаційно нестійкий поблизу тієї критичної точки, в якій реліктове випромінювання стає динамічно незалежним від баріон-електронної ... Останнє означає, що космологічного часу для розвитку нестійкості в нейтринному газі небагато, і ці нестійкості не встигли б розвинути у великомасштабні структури аж до сучасної епохи існування Всесвіту.

Таким чином, продовжуючи, шукати пояснення природи ТМ серед нових частинок, необхідно відразу вказати три умови, яким ці частинки повинні задовільняти:

- 1) частинки, що складають ТМ, дуже слабо взаємодіють з відомими частинками;
- 2) маси нових частинок дуже великі (десятки і сотні ГеВ);
- 3) ці частинки стабільні, принаймні час їхнього життя не менше віку Всесвіту.

Остання умова відразу виключає нестабільні майоранівські нейтрино з числа кандидатів на роль ТМ.

ГІПОТЕЗА ВІМПІВ. Носіїв маси ТМ, що задовольняють усім трьом умовам, названо англійською аббревіатурою WIMP – *слабо взаємодіючі масивні частинки* (Weak Interacted Massive Particles). При температурах, менших від маси спокою вімпа, тиск у газі вімпів малий і, отже, цей газ стає гравітаційно-нестійким задовго до рекомбінації. Отже, просторово неоднорідні збурювання в цьому газі мають досить багато

космологічного часу для свого росту. При масі вімпів близько 100 GeV вони встигають привести до утворення великомасштабної структури Всесвіту приблизно за 1 млрд. років від Великого Вибуху. Саме ця теоретична оцінка відповідає спостережним даним про час утворення великомасштабної структури.

КОНЦЕПЦІЯ СУПЕРСИМЕТРІЇ. В СМ стабільних вімпів немає. Таким чином, вирішення проблеми ТМ безпосередньо пов'язане з пошуком нової фізики за межами СМ. Найбільш розробленою на сьогодні тут є вже згадана **концепція суперсиметрії** (СУСИ).

Дуже важливою внутрішньою властивістю СУСИ теорії є те, що суперпартнерів відомих частинок одна зобов'язана бути абсолютно стабільною. Якщо тепер врахувати експериментальні обмеження на її масу і космохімічне обмеження на існування нових електрично заряджених частинок, то відразу знайдемо, що СУСИ передбачає появу електричного нейтрального абсолютно стабільного вімпа. Тобто в теорії з'являється саме той об'єкт, що, здавалося б, елегантно розв'язує проблему виникнення ТМ і заодно породжує нову фізику за межами СМ. Важливо те, що хоча вімп справді дуже слабо взаємодіє зі звичайною речовиною, але все-таки ця взаємодія є. Тому таку форму ТМ можна зареєструвати експериментально. Приблизно половина маси Галактики мала б приходиться на вімпи. Отже, знаючи задалегідь властивості вімпів, які передбачає СУСИ, і знаючи орієнтовну кількість вімпів навколо нас, можна побудувати детектор і спробуватися знайти їх в експериментах. Невідома однак маса вімпів. А від її величини залежить інтенсивність взаємодії вімпів зі звичайною речовиною. Спроби знайти вімпи відбуваються вже давно, але усе, що є на сьогодні, це обмеження на їхню масу: вона більша від 1 GeV. Нагадаємо, що один з аргументів на користь СУСИ є можливість точного зведення "констант, що біжать" електромагнітної, сильної і слабкої взаємодій в одній точці 10^{16} GeV за умови, що маси суперпартнерів не перевищують 1 TeV. Якщо ж обмеження на

масу істотно вище і суперчастинки не будуть знайдені до 10 ГеВ, то сама концепція СУСИ втратить свою привабливість.

ГІПОТЕЗА ТІНЬОВОГО СВІТУ. Крім вімпів, теорія елементарних частинок пропонує ще кілька варіантів пояснення природи ТМ. Серед них, насамперед, потрібно відзначити *тіньовий світ*, що передбачений *теорією суперструн*. Відповідно до неї, частинки з масою, меншою за планківську, утворюють два сімейства, у кожному з яких є свої власні електромагнітні, слабкі і сильні взаємодії. Відбувається *своєрідне подвоєння світу*, а ми живемо в одній з його половин. З нашим світом такий тіньовий “двійник” може взаємодіяти тільки гравітаційно, так що фотон, випромінений тіньовою матерією, лише нею ж може і поглинутися. Відома ж нам матерія до тіньових фотонів нечутлива. Те ж стосується і до носіїв інших взаємодій. Щоправда, не можна говорити, нібито тіньовий світ цілком схожий на наш. Якби це було так, то звичайної і тіньової матерії у світі було б порівну, ми ж знаємо, що ТМ у Всесвіті є приблизно 95% за масою. Отже, дзеркальна симетрія між світами порушена. Є й інші труднощі гіпотези про тіньовий світ, зокрема, слід зрозуміти, чому тіньова матерія менше структурована, ніж звичайна. Дані спостережної астрономії не свідчать про існування в тіньовому світі великомасштабних структур, цілком аналогічних нашим, тобто тіньових зір, галактик, їх скупчень.

ГІПОТЕЗА СОЛІТОНІВ. Інший шлях заснований на пошуку *вакуумних структур*, здатних виконувати роль ТМ. Як вже відзначено, походження і природа ХК пов’язані з регулярною деформацією шаруватої структури простору-часу, що відповідає слабким взаємодіям. Ця деформація здійснюється фізичним полем специфічної природи – хіггсовським полем. На відміну від інших, це поле не можна представити у виді взаємодіючих одна з одною квантованих хвиль, накладених на порожнечу. У ньому є так звана конденсатна компонента, яку образно можна представити як однорідну “рідину”, розливу по

всьому просторі. Квантовані хвилі (хітсовські бозони) є збуренням цієї “рідини”, а сама однорідна “рідина” відповідає основному вакуумному стану з найменшою енергією. При аналізі цієї картини виникає наступне питання: чи можливе в цієї хітсовській “рідини” існування збурень у виді відокремлених стабільних хвиль – солітонів?

Як відомо, *солітон – це відокремлена хвиля скінченної амплітуди, вона не є малим збуренням, але це і не ударна хвиля, для якої типовими є розриви густини*. Солітон за величиною амплітуди близький до ударних хвиль, але через відсутність розривів густини близький і до акустичних хвиль. Можна сказати, що *солітон – це особливий тип руху, який неможливо зформувати накладенням один на одного акустичних імпульсів*. Хвильовий пакет, побудований з акустичних коливань, у процесі поширення змінює форму, серед багатьох причин зміни форми є і залежність згасання акустичних хвиль від їхньої частоти. Так що солітон – це хвильове збурення, яке, по-перше, не змінює своєї форми в процесі поширення і, по-друге, є практично не згасаючим збуренням. Тобто, це – особливий тип нелінійних рухів, формування і поширення яких у рідині вивчене і теоретично, і експериментально.

Отже, чи можливе існування солітонів у Хітсовій “рідині”? Виявилось, що в принципі – “так”. Фізично *солітон у ХК є ефектом локальної перебудови хітсівського вакууму*, коли деяка обмежена ділянка простору володіє іншими імпульсно-енергетичними властивостями порівняно з навколишніми ділянками, але не допускає інтерпретації у формі суперпозиції квантованих хвиль, тобто ХБ. Основна теоретична проблема при цьому – встановити за яких умов таке солітонне збурення буде стійким. Цю проблему треба аналізувати з позицій фізики вакууму. Нагадаємо, що вакуум – це матеріальне середовище, що є носієм численних кількісних характеристик. Зазвичай для опису систем частинок використовують такі поняття як баріонний, лептонний та електричний заряди і інші. Усіма цими характеристиками, використовуваними для опису частинок (крім електричного

заряду), може володіти і вакуум. Але єдина система вакууму й елементарних частинок володіє ще одним набором характеристик – квантовими топологічними числами. Ці параметри також входять у закони збереження поруч із характеристиками типу баріонного заряду. Отож, для стійкості вакуумного солітона необхідно, насамперед, поставити його зарядами, що зберігаються, чи топологічними числами. Збереження деякого специфічного солітонного квантового числа потрібне, щоб він не “розсмоктався”, безвісти розпавшись на хіггсівські бозони, щоб цьому розпаду перешкождали закони збереження. Утім, і цього недостатньо для стійкості солітона. Наприклад, якщо вакуумний солітон володіє баріонним зарядом і немає яких-небудь інших заборон, він міг би розпастися на нерівне число баріонів і антибаріонів. Такий розпад можна заборонити двома способами: або енергію солітона зробити меншою, ніж потроєна маса нуклона, або приписати солітону ще яке-небудь квантове число, що зберігається, якого в системи частинок бути не може. Реально мова йде про пошук солітонів саме другого типу.

Що ж це за нові квантові числа? Потрібно відзначити, що зрозуміти їхню природу вдається скоріше з чисто математичних позицій, ніж з якісно-фізичних. Фізика явища в цьому випадку полягає в тому, **що солітон є особлива вакуумна конфігурація, яка здобуває стійкість за рахунок взаємодій між елементами своєї власної структури.** Далі усе визначається математичними властивостями цієї самодії. Йдеться про математичні властивості нелінійних систем, адже їхня динамічна еволюція в часі описується не тільки загальним розв’язком, але і набором особливих розв’язків. Кожне часткове рішення нелінійного рівняння задається конкретними початковими умовами і, плавно їх змінюючи, можна теж плавно змінювати міру збурення динамічної системи. Загальний розв’язок містить у функціональній формі такі розв’язки, тобто, маючи загальний розв’язок, можна з нього одержати будь-який особливий. Класифікація часткових рішень, їхнє перерахування здійснюються за допомогою додаткового дискретного параметра – квантового топологічного числа. Це зовсім не ті квантові топологічні числа, що використовувалися при

описі непертурбативного КХД вакууму. Подібність термінів не означає їхньої ідентичності з фізичної і математичної точок зору. Ці солітонні топологічні числа і виступають у ролі квантових чисел, що зберігаються, перешкоджаючи розпаду солітонів. Якщо тепер ми припустимо, що у Всесвіті існує безліч солітонних збурень хітсівського вакууму, то одержимо солітонно-вакуумну модель ТМ. Щоправда, щоб отримана солітонна підсистема була насправді “темною”, потрібно, щоб взаємодія солітонів зі звичайною речовиною була дуже слабкою. У принципі цього можна домогтися в існуючих моделях елементарних частинок.

СУПЕРБОЛИ І СОЛІТОНОПОДІБНІ. Вакуумно-солітонну природу ТМ можна очікувати в різних суперсиметричних теоріях, де є значне число скалярних полів, що виступають у ролі суперпартнерів відомих фізичних полів. Уже з’явився і вакуумна спеціальний термін – Superball, тобто суперкуля чи супербол – “куля”, існування якої передбачається СУСИ-теоріями. Цей напрямок діяльності, здається, є досить перспективним з позицій суперструнної програми, що покладає наявність суперсиметрії. Правда, потрібно розуміти, що суперболи аж ніяк не стерильні об’єкти, і вони, хоча і слабо, взаємодіють з відомими частинками.

Крім вимпів і суперболів є ще одна гіпотеза – це *солітоноподібні збурення тих розширвань простору-часу, які зіставляємо з хромодинамічною взаємодією в КХД*, чи метахромодинамічною і субметахромодинамічною взаємодією в преонних теоріях. Однак математичного апарату для аналізу цієї гіпотези в сучасній теоретичній фізиці поки що немає. Ми не вміємо описувати квантову динаміку вакууму КХД у реальному часі, отже, у нас немає й апарату пошуку відокремлених хвиль у відповідній квантово-геометричній структурі. Узагалі гіпотеза про вакуумну природу ТМ володіє деякою специфічною рисою – у рамках цієї гіпотези ТМ у Всесвіті не існує від початку Великого Вибуху, вона формується поступово в ході космологічної еволюції. Точніше – в зонах релятивістських фазових переходів, де власне і відбувається утворення вакуумних конденсатів. Якщо ж немає

вакуумних конденсатів, то немає і відокремлених хвиль. У цьому сенсі склад і внутрішня структура ТМ несе інформацію про всі ланцюжки фазових переходів, про всі вакуумні, конденсати, тобто про структуру вакууму. Отже, вакуумна ТМ, якщо вона існує, надасть можливість вивчати структуру вакууму без її руйнування. Пріоритет у цьому випадку буде віддано реєстрації і дослідженню реліктових вакуумних солітонів, у властивостях яких і відбивається структура вакууму.

Ранні космологічні структури мають очевидне відношення до проблеми природи ТМ, тому що ТМ є основним носієм маси Всесвіту, отже, процеси, що приводять до утворення структур, відбуваються, насамперед, у ній. Якщо якась значна кількість ранніх структур утворюється не випадково, то це означає, що в ТМ відбувається деякий могутній процес структуризації, відмінний від стандартної гравітаційної нестійкості, який веде до появи ранніх структур. Але вести мову про цей процес, не знаючи природи ТМ, узагалі кажучи, неможливо. Можна лише відзначити: якщо дані про ранні структури приведуть до висновку про їхню невідповідність, це сильно загострить питання про природу ТМ. Наприклад, ТМ, побудована з вімпів, принципово не здатна створювати ранні структури. Водночас не видно, як цю проблему могли б вирішити суперболи, для масивних нейтрино ця задача – пояснення виникнення ранніх космологічних структур – і зовсім не по плечу. Розв'язок задачі міг би спиратися на існування якихось частинок з аномальними властивостями – сильно взаємодіючих один з одним, але слабо взаємодіючих з відомими частинками. Тоді процеси структуризації усередині цієї підсистеми частинок могли б пояснити виникнення ранніх структур у Всесвіті. Нагадаємо те, що точно відомо, – частинка є збудження вакууму. Тому наявність частинок з такими аномальними властивостями повинна означати й існування певної вакуумної підсистеми з аномальними властивостями невідомого типу”.

(За книгою Н.Латинова, В.Бейлина і Г.Верешкова).

III. КОСМОС АСТРОНОМІЧНИЙ І БІОЛОГІЧНИЙ

10. Концепція інфляційного Всесвіту

ФІЗИЧНИЙ ВАКУУМ. “Це – певне матеріальне середовище, що має, утім, деякі специфічні властивості. Порівнюючи вакуумну “матерію” зі звичайним матеріальним середовищем, слід зазначити ряд подібностей і розходжень. До подібностей потрібно віднести, по-перше, те, що *фізичний вакуум, як і звичайне середовище, є носієм енергії і характеризується тиском, по-друге, вакуум, як і звичайні матеріальні середовища, має внутрішню мікроскопічну структуру, що забезпечує можливість його перебудови.* Існують також збурення вакуумного середовища, що класифікуються, як і збурення звичайної розподіленої матерії – хвильового і солітонного типу. Хвильові збурення вакууму розуміють й описують в теорії як частинки. Водночас є і важливі відмінності, і в першу чергу неможливість пов’язати з вакуумом визначену систему відліку (СВ) – інакше ми б просто повернулися до концепції ефіру. Недеформований вакуум виглядає однаково при погляді на нього з кожної СВ, зокрема й з неінерційної. Дослідження об’єкта з такими інваріантними властивостями вимагає визначеної методології, відмінної від методології вивчення ефіру. Вакуум можна вивчати або через властивості його збурень, або шляхом його структурної перебудови в макроскопічних масштабах. Ще одна відмінність фізичного вакууму від звичайного середовища – специфічне рівняння стану $p = -E$, що автоматично забезпечує сталість густини енергії і тиску вакууму у всіх процесах типу стиску чи нагрівання. Лише перебудова внутрішньої структури вакууму приводить до зміни цих констант. Інакше кажучи, *у процесі безупинної деформації ці глобальні характеристики вакууму не змінюються, їхня зміна може відбуватися лише стрибкоподібно при зміні однієї вакуумної субструктури іншою.* Незмінна густина енергії вакууму повинна фігурувати в рівняннях Айнштейна, і вона там присутня у виді Λ -члена. Сам

Айнштайн не стверджував, що ця характеристика стосується фізичного вакууму, він думав, що самому простору-часу притаманні сталі густина енергії і тиск. Подальший розвиток фізики показав, що ці поняття – простір-час і вакуум – тісно пов'язані, так що ідея Айнштайна була інтерпретована в термінах фізичного вакууму і фізики елементарних частинок.

Чому ж дорівнює густина енергії вакууму в сучасному Всесвіті? Це питання, взагалі кажучи, має вирішуватися експериментально. Довгий час вважали, що значення Λ -члена точно рівне нулю і тільки в останні роки астрономічні спостереження дозволили встановити, що воно відмінне від нуля і що густина енергії вакууму орієнтовно в 10-20 разів перевищує густину енергії баріонної матерії. Саме такі уявлення про величину Λ -члена прийняті сьогодні. Є, однак, чисто теоретичний спосіб визначення величини Λ -члена, а саме, виявляється, що значення Λ -члена тісно пов'язано з процесами формування великомасштабної структури Всесвіту, оскільки темп гравітаційної нестійкості визначається складом Всесвіту і швидкістю його розширення. Теоретично встановлено, що найбільш прийнятна картина утворення великомасштабної структури є тоді, коли формування цієї структури супроводжується розширенням простору-часу Всесвіту такого типу, коли цілком визначену роль грає і густина енергії вакууму. Аналізуючи такий тип розширення, можна одержати оцінки величини Λ -члена. Отримані кількісні результати узгоджуються зі спостережними астрономічними даними спалахів наднових, що й дозволяє впевнено зробити висновок про нерівність Λ -члена нулю.

Як же зформувалася ця фізична величина – густина енергії вакууму? Для прояснення цього питання слід згадати, що вакуум є сукупність великого, числа взаємозалежних підсистем. Одна з них – КГК, про існування другої підсистеми – ХК – відомо майже напевно. Оскільки ж ці підсистеми активно експериментально досліджуються, то густини енергії КГК і ХК можна вказати. Так, густина енергії для КГК сягає 10^{36} ерг/см³ (за абсолютною величиною) і має знак, протилежний

знаку густини енергії вакууму, вимірюваної шляхом астрономічних спостережень. Для густини енергії ХК маємо 10^{55} ерг/см³ і теж зі знаком мінус! Зіставляючи ці дані спостережень з передбаченням теорії елементарних частинок, починаємо розуміти, наскільки наші *знання про природу і будову вакууму ще далекі від істини, адже сучасна теорія передбачає величезні густини енергії вакуумних підсистем, та й ще з іншим знаком!* Вирішення проблеми можливе лише при розширенні наших сьогоднішніх уявлень про структуру вакууму, уведенні додаткових, крім уже вивчених, його підсистем і, крім того, серед цих вакуумних підсистем необхідно знайти такі, котрі мали б додатню густину енергії. При цьому обов'язково слід установити і природу тих процесів, внаслідок яких відбувається точне узгодження станів різних вакуумних підсистем з додатньою і від'ємною енергіями. Тоді величезні додатні і від'ємні внески в густину енергії вакууму взаємно компенсуються, і Λ -член набуває значень близьких до нуля.

Відзначимо: усі вакуумні підсистеми в рамках преонного сценарію мають від'ємні густини енергії, тому що за своєю природою вони аналогічні КГК, тобто є сильно зв'язаними діонними структурами. В іншому сценарії, що допускає суперсиметричне узагальнення теорії елементарних частинок і подальший перехід до суперструнної картини, наявні в основному конденсати типу хігсівського. Таких вакуумних конденсатів у суперсиметричній схемі багато, причому "стандартний" ХК зі СМ має найменшу за модулем енергію з усіх цих підсистем. Ключ до вирішення проблеми лежить у квантовій теорії гравітації.

"КРОТЯЧІ НОРИ". Гравітаційний вакуум, як і вакуум КХД, має складну квантово-топологічну структуру. Але якщо вакуум КХД є сукупністю структур у розшаруваннях простору-часу, то гравітаційний вакуум є набором топологічних структур у викривленнях простору-часу. Проілюструємо можливі топологічні структури на простому 2-мірному прикладі. Розглянемо для цього звичайну площину чи, у більш загальному

випадку, деяку слабо скривлену 2-вимірну поверхню, що є 2-мірною моделлю реального викривленого простору-часу без урахування внутрішніх топологічних дефектів. Створимо на поверхні топологічний дефект – накреслимо в різних місцях два однакові кола, що не перетинаються, і виріжемо відповідні внутрішні круги, тим самим усуваємо з простору деяку підмножину точок. Отримуємо поверхню з дірками, а щоб повернути просторові його неперервність, візьмемо трубку такого ж діаметра, як і діаметри дір, і з'єднаємо дірки трубкою. Вона теж є 2-вимірним, але більш викривленим простором, що з'єднує дві дефектні ділянки. Відзначимо, що межі дефектних зон є 1-вимірними лініями.

Описану конструкцію названо “кротячою норою”. Отож і в 4-вимірному просторі-часі також можна створити аналогічний дефект, обмеживши 3-вимірними гіперповерхнями деякі ділянки 4-вимірного простору-часу. З'єднуючи різні дефектні ділянки 3-вимірними викривленими гіперповерхнями одержимо дефект у виді 4-вимірної “кротячої нори”. За уявленням квантової теорії гравітації виявляється, що наш реальний простір-час заповнений такими мікроскопічними “кротячими норами”, розміри яких надзвичайно малі – типовий їхній розмір 10^{-33} см., тобто планківська довжина. При макроскопічних переміщеннях ми їх не зауважуємо, адже наявність “кротячих нор” позначиться на русі частинок лише при взаємодії частинок на цих надмалих відстанях. Що важливе: заповнений “кротячими норами” простір-час є носієм додатної енергії! Тобто енергія гравітаційного вакууму додатна – на відміну від енергії квантовохромодинамічних і хіггсівських конденсатів. *Саме наявність такої вакуумної підсистеми, як “кротячі нори”, і забезпечує принципову можливість взаємного зменшення різних внесків у повну енергію вакууму.*

Слід відзначити, що проблема пояснення числового значення й еволюції Λ -члена породжує у фізиці ХХІ ст. зовсім специфічну ситуацію. Особливість її в тому, що, з одного боку, суть розв'язуваної проблеми зовсім ясна, оскільки відомий ряд експериментальних фактів, погоджених з

перевіреною Стандартною Моделлю елементарних частинок, яка свідчить про існування вакуумних підсистем з величезною від'ємною енергією. З іншого ж боку, є дані спостережної астрономії, за якими величезний від'ємний внесок відомих вакуумних підсистем компенсується приблизно таким же за величиною додатнім внеском невідомої природи з фантастичною точністю. Аналіз всіх наявних на сьогодні концепцій фундаментальної фізики показує, що така компенсація внесків можлива лише на планківських масштабах із включенням підсистеми “кротячих нор”. Щоправда, у навколишньому Всесвіті не виявлено жодних ознак процесів, як відбуваються при таких високих енергіях. У спектрі космічних променів максимальна зареєстрована енергія на сім порядків нижча, це – 10^{12} GeV, що навіть не дотягає на чотири порядки до енергетичного масштабу Великого Об'єднання. Немає ніякої впевненості в тому, що в природі взагалі існують об'єкти з такими енергіями. У рамках прийнятої в науці методології пізнання слід би провести при таких енергіях відтворений локальний експеримент. Виникає, однак, враження, що енергетики усього Всесвіту буде недостатньо для проведення цього експерименту. Крім того, схоже, що енергетична заборона на експериментальну перевірку структури вакууму на планковском масштабі не випадкова: при настільки високих енергіях результатом експерименту могло б стати катастрофічне руйнування простору-часу усього Всесвіту. Можливо, в експерименті відбулося б і народження так званих дочірніх всесвітів.

У ПЛАНКІВСЬКИХ МАСШТАБАХ. Нетривіальність фізичної ситуації, що складається, визначається не лише тим фактом, що процес людського пізнання по суті справи відкидає сам себе, оскільки точно сформульована проблема диктує необхідність проведення досліджень на планковських масштабах, що абсолютно неможливе. Внутрішня суперечливість шляху пошуку істини фактично кидає виклик людині, ясно демонструючи їй скромне місце на цьому шляху й у Світі.

Осмислення цього факту вже сьогодні ставить перед людством нову філософську проблему.

Ще однією специфічною рисою досліджуваних у сучасному Всесвіті явищ з досить малими характерними енергіями є те, що для їхнього розуміння виявляється необхідним облік усіх мікроструктур вакууму з типовими масштабами й енергіями, що заповнюють усю шкалу – від найменших енергій частинок макросвіту до фантастично величезних планковських енергій (зважаючи на все, недоступних для експерименту), включаючи і всі проміжні масштаби. Наочним виявом цього факту є і те, що всі вакуумні структури вносять свій внесок у величину Λ -члена. Таким чином, перед нами яскрава демонстрація цілісності Світу, що неможливо вивчати, усуваючи з його цілісної, сильно пов'язаної структури яку-небудь частину за деякими просторовими чи енергетичними критеріями. Сучасна наука встановила, що для пізнання Світу необхідно враховувати всі його елементи на всіх просторово-часових чи енергетичних масштабах. Цілісний єдиний Світ вимагає для свого дослідження формулювання зовсім нової методології пізнання, і цей висновок позначає нову філософську проблему ХХІ в., яка не тільки абстрактно наукова, але і безпосередньо торкається самої Людини. Тут, як і в фундаментальній фізиці, проблема формулюється зовсім ясно, але підходи до її вирішення важко навіть уявити. Слід додати, що такі проблеми здебільшого виникають не лише при аналізі космологічної сингулярності в процесі народження Всесвіту, але і при вивченні всіх стадій космологічної еволюції, а саме в околицях кожного фазового переходу. Причому про неминучість щонайменше двох фазових переходів відомо точно. Адже вакуумні конденсати, носії величезної енергії існують не від самого початку Всесвіту: вони виникають при певних температурах. Так, глюонний конденсат був відсутній при температурах, більших 500 МеВ, при $T=500$ МеВ КГК виникає, як підсистема з величезною енергією. Так що і майже нульовий Λ -член у сучасному Всесвіті сформувався вже за участю КГК.

ПРОБЛЕМА Λ -ЧЛЕНА. Як же відбувалося формування Λ -члена? Для пояснення цього процесу є два підходи. У першому, “найвному”, передбачається, що до фазового переходу вакуум у Всесвіті характеризувався великим додатнім Λ -членом, а кварк-глюонний конденсат, що частково випав при 500 MeV, своєю від’ємною енергією точно зкомпенсував додатне затравочне значення Λ -члена. У цьому підході мова йде про точне дописування параметрів вакуумних підсистем у масштабах Всесвіту з точністю до 44 знаки після коми! Процес такого підстроювання важко вважати можливим. Та історія на цьому не закінчується, оскільки до енергій 100 GeV не було і хігсівського конденсату. Тож доводиться припускати, що затравочний Λ -член мав енергію порядку ХК, і, народившись, ХК зкомпенсував його вже з точністю до 55 знака? А далі точність компенсації повинна ще зростати, і на планківських масштабах точність допасування повинна бути вже близько 100 знаків? Очевидно, шлях до вирішення проблеми має бути іншим. Треба визнати, що нам невідомий фізичний закон, який надає нульовому значенню Λ -члена якийсь особливий зміст. Компенсація внесків у Λ -член повинна керуватися фізичним законом, а не допасуванням параметрів теорії! Саме пошуками цього нового закону природи і доведеться займатися вченим найближчим часом.

Припустимо, що цей закон справді існує, і що він керує формуванням вакуумного стану. Тоді з нього випливає, що після кожного фазового переходу, коли утвориться нова вакуумна підсистема, всі інші підсистеми починають перебудовуватися. Зокрема, після утворення КГК для компенсації його енергетичного внеску густина енергії ХК за модулем повинна зменшитися усього на одного мільярдну відсотка. Таким чином, ХК реагує на КГК без процедури допасування, а внаслідок дії певного закону. Потім наступить черга реагувати конденсату, найближчому за енергією до ХК, і далі по ланцюжку. У рамках такої картини після кожного фазового переходу всі інші підсистеми динамічно реагують на утворення нової вакуумної підсистеми, очевидно, зрештою, відреагує і підсистема

“кротячих нор”. Ця послідовність реакцій керується новим фізичним законом, що забезпечує формування майже нульової густини енергії вакууму внаслідок динамічного узгодження всіх його підсистем. Отже, ми говоримо про деякий новий фізичний закон, що керує динамікою вакууму, але не представляємо, яким він повинний бути. Уже на рівні КГК ми зіштовхуємося з проблемою опису квантово-динамічної еволюції вакууму в реальному часі – і не знаємо, які рівняння еволюції. Але тепер у рівняннях динамічної еволюції вакуумних структур повинна міститися одночасно і мета цієї еволюції – кінцева нульова величина Λ -члена. У цьому виявляється один із аспектів самоорганізації вакууму. Додамо, що в процес самоорганізації вакуумних структур також утягуються всі енергетичні і просторово-часові масштаби, включаючи і планківський. З філософської ж точки зору проблема опису вакууму, що самоорганізується, що еволюціонує, ставиться також цілком чітко, однак, як і раніше, нам невідомі шляхи її вирішення.

Уявлення про динамічну еволюцію вакууму після кожного фазового переходу одержують підтримку й у спостережній космології. Як згадано, дані про Λ -член, що впливає на розширення Всесвіту в цілому, можна одержати з даних про спалахи наднових. Аналіз цих даних приводить до висновку, що Λ -член не просто відмінний від нуля, але і не є константою, він зазнає повільної космологічної еволюції. Мовою рівнянь стану це означає, що рівняння “пом’якшується” і стає $p = -\frac{2}{3}E$. Для густини енергії вакууму, що повільно зменшується до нуля за законом $E_{\text{вак}} \sim 1/a$, де a – характерний розмір Всесвіту, запропоновано вдалу назву – **квінтесенція**. У світлі раніше обговорених ідей цей термін можна трактувати так: повільний спостережуваний спад енергії вакууму є найголовніший (квінтесенція!) сумарний результат складних процесів самоузгодження усіляких вакуумних підсистем, що відбуваються на різних просторово-часових масштабах. Виникаюча у зв’язку з такою, спостережуваною в природі поведінкою $E_{\text{вак}}$ теоретична проблема полягає в тому, щоб зрозуміти, чому еволюція вакууму після останнього

кваркадронного переходу супроводжується такою повільною погодженою перебудовою усіх вакуумних підсистем, тобто повільним взаємним підстроюванням станів усіх вакуумних субструктур.

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ КОСМОЛОГІЇ. Прийнято вважати, що процеси у надранньому Всесвіті протікають при енергетичних масштабах від 10^{19} до 10^{16} ГеВ. У цьому ж інтервалі енергій реалізуються і ті етапи космологічної еволюції, що лежать поза рамками Стандартної Моделі. Навіть інтуїтивно зрозуміло, що фізичні процеси в навколопланківській ділянці мають особливу важливість, оскільки визначають макроскопічні властивості Всесвіту. Що ж найбільше типове для цих процесів? Для відповіді на це питання доводиться аналізувати основні космологічні проблеми.

Вважалося, що глобальні властивості Всесвіту можуть бути отримані з астрономічних спостережень. Інакше кажучи, що дані спостережень дають можливість сформулювати певну глобальну модель Всесвіту. На основі такої моделі можна було б проводити вивчення різних фізичних процесів у Всесвіті. Тепер прийшов час поставити питання інакше: чому глобальні властивості Всесвіту саме такі, а не інакші? Чи міг би наш Всесвіт бути глобально інакшим, чи існують визначені фізичні закономірності, які неминуче приводять до відомих глобальних характеристик?

Першою глобальною властивістю Всесвіту є наявність у ньому однорідності та ізотропії. Однорідні ж та ізотропні космологічні моделі є дуже частковим випадком розв'язків рівнянь Айнштайна. Навіть у рамках класичної теорії гравітації можна знайти, що загальний розв'язок рівнянь Айнштайна описує зовсім інший Всесвіт, а саме – неоднорідний (з різною густиною плазми в різних її точках) і анізотропний (що розширюється з різними швидкостями в різних напрямках). Ще більше, завдяки Белінському, Ліфшицу і Халатникову нам навіть відомий явний математичний вид загального класичного розв'язку в околиці космологічної сингулярності. Формально

проблема ставиться так: *які фізичні процеси забезпечили однорідність та ізотропію Всесвіту?* Причому забезпечили її досить рано в космологічній шкалі часу, адже в епоху нуклеосинтезу, тобто через хвилину після сингулярності, Всесвіт уже був найвищою мірою однорідним та ізотропним.

Другу проблему звичайно формулюють, як проблему площинності 3-вимірною Всесвіту, але її повне формулювання таке: це проблема походження у Всесвіті великого числа частинок, що забезпечують близькість 3-вимірної геометрії до геометрії Евкліда. Зауважимо, що в частині спостережного Всесвіту, який охоплюється радіоастрономічними приладами, число частинок усіх типів приблизно 10^{94} , так що питання про близькість геометрії до евклідової невіддільне від питання про величезне число частинок у Всесвіті. Сама постановка питання обумовлена такою формальною обставиною: існує безліч простих теоретичних моделей, у яких частинок мало і на всіх стадіях еволюції топологія неевклідова, є також космологічні моделі, де частинок немає взагалі. Оскільки сама наявність сингулярності приводить до проблеми народження Всесвіту як фізичного об'єкта, природно і логічно припустити, що він народжується з мінімальним числом частинок чи зовсім порожній, без частинок. Напевно, такому Всесвіту простіше народитися, тому і виникає питання про фізичні процеси, що забезпечують одночасно і наявність великого числа частинок і, як наслідок, формування геометрії Всесвіту, близької до евклідової.

Ще однією, *третьою*, є проблема горизонту подій, яка полягає у встановленні причинно-наслідкових відносин між усіма точками Всесвіту. Важливе те, що ми не бачимо жодних ділянок Всесвіту, як могли б бути причинно не зв'язані. Цей висновок можна зробити, оскільки зберігаються глобальні однорідність та ізотропія. Додамо, що ця проблема має місце лише в тому випадку, коли число частинок велике. У Всесвіті з малим числом частинок розмір горизонту порядку розміру Всесвіту. У цьому випадку проблеми горизонту немає, тому що в такому Всесвіті немає перешкод для встановлення причинно-

наслідкових зв'язків. Отже проблема формування причинно-наслідкових відносин у Всесвіті є основним аргументом на користь постановки питання про народження в ньому великого числа частинок. На початку еволюції, можливо, число частинок було невелике, що і дозволило установити зв'язки причин і наслідків між фізичними явищами в різних просторово-часових точках. Потім число частинок зросло, але зі збереженням виниклих раніше причинно-наслідкових зв'язків.

Четверта космологічна проблема – це питання про походження реліктових неоднорідностей, розвиток яких привів до утворення великомасштабної структури Всесвіту. Під час обговорення цього питання домінує така точка зору: реліктові неоднорідності – одна із фундаментальних властивостей Всесвіту і генезис цієї властивості тісно пов'язаний з походженням інших згаданих характеристик, зокрема, ізотропії. Інакше кажучи, народження великого числа частинок, формування властивостей 3-вимірної геометрії, установлення причинно-наслідкових відносин супроводжується генерацією малих неоднорідностей, що існують до моменту рекомбінації, а потім розвиваються, утворюючи великомасштабну структуру. Наприклад, усілякі неоднорідності можуть генеруватися при фазових переходах і, якщо причинно-наслідкові зв'язки між характеристиками космологічної плазми у всіх просторових точках існують, те немає основ виключати з числа флуктуацій великомасштабні флуктуації з розмірами, більшими за формальні розміри горизонту подій.

НЕРІВНОВАЖНІСТЬ ТА ІНФЛЯЦІЯ. Космологічні проблеми повинні розглядатися чи хоча б принципово взаємоузгоджуватися в рамках певної загальної теоретичної парадигми. Очевидно, повинна існувати єдина, ключова ідея, яка дає основу для якісного і, можливо, кількісного розгляду механізму фізичних процесів, що вирішує одночасно всі чотири проблеми. Сьогодні, після епохи “бурі і натиску” у теоретичній космології останніх десятиліть, представляється, що розв'язок всіх перелічених вище концептуальних (глобальних)

космологічних проблем може бути знайдений в рамках гіпотези про існування різко нерівноважної стадії еволюції Всесвіту. Мова, звичайно, йде саме про нерівноважний стан вакууму. Зрозуміло, теорія нерівноважного вакууму покладає замкнутість Всесвіту. Вирішення глобальних проблем нескінченного Всесвіту, очевидно, *узагалі неможливо знайти силами і розумом людини*, тому що *нескінченність можна ввести в теорію формально, як даність, але її не можна осмислити операціонально*.

Отже, беремо до уваги, що вакуум у різко нерівноважному стані забезпечує надзвичайно швидке розширення. Вакуум – система зі специфічним рівнянням стану і його густина енергії майже незмінна. Але виявилось, в цьому стані вакуум має величезну позитивну енергію. У теорії Айнштейна це відповідає і величезній величині сталої Хаббла, що й означає швидке розширення Всесвіту в стадії різко нерівноважного вакууму. Оскільки ж густина енергії вакууму незмінна, то різке зростання обсягу Всесвіт приводить і до росту енергії вакууму. Однак закон збереження енергії не порушується, бо саме гравітаційне поле є носієм енергії. Теорія Айнштейна має дивну властивість: повна енергія замкнутого Всесвіту з урахуванням енергії вакууму в будь-якому його стані, енергії частинок і енергії глобального гравітаційного поля точно рівна нулю, які б процеси ні відбувалися в системі. Підкреслимо: енергія частинок матерії завжди додатна, але енергія вакууму може мати будь-який знак. Так, якщо він перебуває в одному з рівноважних станів, то, як правило, його підсистеми типу КГК і ХК мають від’ємну енергію, система ж “кротячих нор” – додатну. Енергія ж глобального гравітаційного поля завжди менша від нуля. То ж при швидкому розширенні додатна повна енергія вакууму різко зростає за модулем, але також росте за модулем і від’ємна енергія гравітаційного поля. Баланс енергій у Всесвіті не порушується, тобто *перерозподіл енергії в замкнутому обсязі Всесвіту може відбуватися як завгодно, але повна його енергія буде дорівнює нулю. У цьому виявляється саме закон природи, це результат дії деякого принципу, а не тонкого*

підстроювання субструктур, як це має місце в проблемі малості Λ -члена. В останньому випадку, при обліку чисто вакуумних процесів йде якраз підстроювання параметрів вакуумних структур, їхня узгоджена еволюція, закон якої, на відміну від законів теорії гравітації, поки не відомий.

Отже, в процесі інфляції з підсистемами вакууму й елементарних частинок, що утворюють єдину цілісну космологічну систему, енергія вакууму внаслідок інфляції сильно зростає, а енергія частинок залишається дуже малою. ***Перебувати в нерівноважному стані вакуум може досить довго, щоб космологічні проблеми мали розв'язки, але розпад його неминучий.*** Результатом цього і є народження величезного числа частинок за рахунок енергії вакууму. Таким чином, ідея інфляції вказала шлях до вирішення проблеми горизонту і походження величезної кількості частинок.

При розпаді нерівноважного вакууму (фактично, при нерівноважному фазовому переході) відбувається формування неоднорідностей. Великим досягненням теорії інфляції можна вважати те, що вперше для пояснення властивостей макросвіту виявилось необхідним визнати, що Всесвіт пройшов через один чи декілька етапів еволюції не в квазірівноваженому різко незрівноваженому режимі. Це наслідок будь-якого варіанту теорії інфляції і ця парадигма зберігається у всіх реалістичних теоріях надраннього Всесвіту. На жаль, теорія інфляційного Всесвіту не дуже добре стикається з названими теоріями елементарних частинок. Ці теорії, особливо в рамках суперструнної програми, передбачають велике число хіггсових підсистем, велике число полів у планківському масштабі і серед них можна знайти кандидатів на ***інфлатони – квантове поле, що описує нерівноважний вакуум.*** Однак, тут неможливо одержати необхідні характеристики інфлатонів. Бо сам інфлатон має з'явитися в теорії, володіючи певними властивостями, які необхідні для вирішення космологічних проблем. Використовувані в сучасній теорії інфляції математичні моделі скалярних полів погано стикаються з тим, що передбачають теорії елементарних частинок. Динамічні нелінійні властивості

інфлатонних полів, м'яко кажучи, дуже своєрідно відповідають типовим конкретним передбаченням теорій елементарних частинок. Це насторожує, оскільки отут і виникають протиріччя між цими необхідними властивостями і математично точними результатами, які випливають з теорії елементарних частинок. Ці протиріччя настільки великі і помітні, що в деяких учених навіть виникають сумніви в тому, що концепція інфляції близька до істини.

Наявні моделі інфляції, по суті, є теоріями нерівноважного хіггсівського конденсату. Тому ключове значення має експериментальне виявлення ХБ. Якщо виявиться, що хіггівське поле фундаментальне, як один з елементів теорії суперструн, то, виходить, і теорія інфляції одержить пряме експериментальне обґрунтування. Якщо ж виявиться преонна структура ХБ, то доведеться шукати такі механізми виникнення макроскопічного Всесвіту, що не зводяться до вже відомих інфляційних сценаріїв.

Так чи можна обійтися без інфляції? Представляється безсумнівним, що вихідна ідея нерівноважності правильна, але її конкретна реалізація може бути істотно змінена. Справа в тім, що в існуючих теоріях нерівноважний вакуум у виді нерівноважного ХК еволюціонує за класичними (не квантовими) законами. Тому можливо, що наділення інфлатонів деякими екзотичними властивостями, що суперечать передбаченням теорії елементарних частинок, обумовлено саме тим, що ми намагаємося складну еволюцію принципово квантового об'єкта – вакууму – приблизно описувати на класичному рівні. Можливо, майбутня квантова теорія вакууму дозволить узгодити результати теорії інфляції й елементарних частинок. Доречно згадати, що фундаментальним наслідком теорії Айнштейна є рівність нулю повної енергії. Тому в замкнутому Всесвіті за енергетичним критерієм рівноважні стани не мають переваги перед нерівноважними. Звідси логічно випливає припущення, що замкнутий Всесвіт може зазнавати спонтанних квантових стрибків з рівноважних станів у нерівноважні, енергія яких при розпаді перетворюється в енергію частинок. Таким

чином, замість безупинної класичної інфляції майбутня квантова теорія вакууму повинна буде звернутися до дослідження послідовності квантових стрибків. Імовірність квантових стрибків у теорії не дорівнює нулю, але не хотілося б формування макроскопічних властивостей нашого Всесвіту пояснювати лише грою випадку. **Можливо, у природі є деякі закономірності, що формують чи містять у потенційному виді мету еволюції, реалізовану через квантові стрибки.**

Наявна теорія інфляції виділила ключову ідею нерівноважності і показала погану сумісність результатів з теорією частинок у відомих на сьогодні моделях; досягнутий же рівень теорії вакууму й елементарних частинок показує, що всі дослідження ще попереду.

СТІНКИ ДОМЕНІВ. Теорії інфляції здатна запропонувати вирішення ще, принаймні, двох проблем, породжених фізикою фазових переходів у космологічній плазмі. Макроскопічний ефект фазового переходу критично залежить від існування чи неіснування причинно-наслідкових відносин у масштабах, що значно перевищують формальний горизонт подій на момент переходу. Якщо у Всесвіті, який зазнає фазового переходу не вирішена проблема горизонту, то виникає **проблема доменних стінок**. Суть справи в тім, що при спонтанному порушенні симетрії відбувається перебудова вакууму, яка супроводжується утворенням глобальних класичних скалярних полів. Теорія передбачає, що є декілька принаймні два стани скалярного поля з тим же значенням енергії. Тому в причинно незв'язаних ділянках порушення калібровочної симетрії приводить до утворення **доменів** – замкнутих ділянок – із протилежними за знаком величинами скалярного поля. Стінки між доменами повинні мати надзвичайно високу густину енергії і наявність таких стінок у Всесвіті мала б катастрофічні наслідки для космології. Друга проблема ініціюється моделями Великого Об'єднання. Практично у всіх таких моделях передбачається народження великого числа (співмірного з числом баріонів у Всесвіті) надважких **магнітних монополів** – відокремлених

магнітних зарядів. Експериментально такі реліктові монополі, які утворюються в період часу 10^{-35} секунд після Великого Вибуху, ще не виявлені. Зазначені проблеми розв'язуються в наявних теоріях інфляції. У системі, всі елементи якої зв'язані причинно-наслідковими відносинами, енергетично вигідним є однодоменний фазовий перехід. Це означає, що частина, нашого Всесвіту, яка спостерігається, міститься усередині одного домена, межі якого лежать далеко за межами астрономічних спостережень. У такий спосіб і вирішується проблема доменних стінок. Що ж стосується монополів, то, як з'ясувалося, вони в основному народжуються поблизу границь доменів, тобто, якщо розміри домена перевищують видиму нами частину Всесвіту, то проблема відсутності монополів в астрономічних спостереженнях розв'язується автоматично.

ФІЗИЧНИЙ АСПЕКТ ПРОБЛЕМИ. Гравітаційне поле Всесвіту, принаймні в сучасну епоху, можна представити як деяке згладжене класичне тло, на якому задано квантові гравітаційно-хвильові збурення. Таким чином, тут геометрія – досить гладке (локально плоске) тло плюс квантовані гравітаційні хвилі (гравітони). Чи зміниться цей образ геометрії Світу при русі до сингулярності? Чим ближче ми виявляємося до сингулярності, тим більшого значення набувають ефекти взаємодії гравітонів один з одним і іншими частинками. Цей факт легко зрозуміти, тому що навіть у ньютонівській теорії тяжіння інтенсивність гравітаційної взаємодії пропорційна добутку мас взаємодіючих об'єктів. У релятивістській теорії замість мас виникає добуток повних енергій; в околі сингулярності енергії великі, так що інтенсивність взаємодії росте. Крім цього, типові просторово-часові масштаби квантово-гравітаційних флуктуацій, тобто їхні періоди і довжини хвиль, зменшуються з наближенням до сингулярності. Важливо, однак, те, що одночасно зменшується і характерний часовий масштаб еволюції класичного фону, причому помітно швидше. У сьогоdnішнього Всесвіту фоновий масштаб набагато більший від характерного масштабу квантово-гравітаційних флуктуацій.

Аналіз сьогоднішнього Всесвіту, а також усіх стадій його еволюції, на яких типові енергії частинок істотно менші від планківської енергії, не допускає модифікації ідеологічної структури фундаментальної фізики. Як і раніше базисна теорія оперує з класичною підсистемою – геометрією Всесвіту в цілому – і квантовою підсистемою, утворюваною комплексами псевдочастинок, різних типів вакуумних конденсатів. Новим елементом є тільки самоузгодження динамічних властивостей підсистем, але, незважаючи на взаємопідстройку характеристик, еволюцію однієї підсистеми доводиться розглядати на класичному рівні, а іншої - на квантовому. Підставою для такого підходу є різка відмінність характерних часових параметрів підсистем.

МАТЕМАТИЧНА СТРУКТУРА ТЕОРІЇ “ЗНИКНЕННЯ” ЧАСУ. У постановці проблеми квантування ЗТВ і космології наявний і математичний аспект: як правильно зформулювати принцип невизначеності для гравітаційного поля Всесвіту. Теоретичні прогнози і кількісні результати перебувають у прямій залежності від математичного формулювання цього принципу. Нагадаємо, що принцип невизначеності формулюється для взаємно доповнюючих величин. Якщо проводити квантування лише гравітаційних хвиль, не заторкуючи макроскопічне геометричне тло, то такі взаємно доповнюючі величини ввести легко. Однак при розширенні фізичної постановки задачі – для роботи в біляпланківських масштабах – квантуванню піддаються не тільки гравітаційні хвилі, але і макрогеометрія. У цьому випадку потрібен додатковий аналіз, який на існуючому рівні знань можемо провести в рамках так званого гамільтонового формалізму квантової теорії.

Гамільтонів формалізм має ряд специфічних рис. По-перше, у ньому явно виділений особливий статус часу. Така теоретична схема безпосередньо відповідає процесу пізнання: хоча ми працюємо з теорією, властивості симетрії якої задані в 4-вимірному просторі-часі, зіставлення її з експериментом

допускає упорядкування фізичних подій в одновимірному часі. Таким чином, суб'єктивно, для спостерігача, що проводить виміри й упорядковує події, час виділений особливо. По-друге, лише в рамках гамільтонового формалізму є однозначна процедура введення динамічних величин, що задовольняють квантовому співвідношенню невизначеностей. У класичній фізиці існує багато способів формулювання динаміки, можна використовувати в якості динамічних змінних широкий клас комбінацій фізичних величин і стежити за їх змінами в часі. Вибір таких базисних величин значною мірою довільний і визначається головним чином з міркувань зручності математичного опису. У квантовій теорії ситуація якісно інша. Оскільки принцип невизначеності фіксує неможливість одночасного виміру деяких взаємно доповнюючих фізичних величин, можна говорити лише про імовірності перебування системи в тій чи іншій ділянці координатного чи імпульсного простору. Гамільтонів формалізм вводить і використовує лише ті динамічні величини (так звані канонічні узагальнені координати й імпульси), для яких має місце співвідношення невизначеностей і один з наборів яких можна взяти для введення поняття імовірностей подій.

Таким чином, першим кроком на шляху квантової модифікації ЗТВ є надання теорії гравітації гамільтонової форми ще до побудови квантової теорії Всесвіту в цілому. У процесі розв'язування цієї задачі виявляється дуже специфічна риса ЗТВ, що визначає й у край своєрідний характер квантової геометродинаміки. Теорія гравітації динамічно реалізує просторово-часову симетрію, фізичний зміст якої полягає у можливості вибору будь-якої системи відліку для опису гравітаційних явищ. Рівняння ж Айнштейна зберігають свій вигляд у будь-якій системі відліку. Ця, так звана коваріантність рівнянь Айнштейна є математичним виразом фізичної просторово-часової симетрії, що має ряд наслідків. По-перше, рівняння Айнштейна не можна розв'язати, не задаючи систему відліку. При цьому розв'язки рівнянь у різних системах відліку виглядають по-різному, оскільки вони несуть інформацію як про

фізичний об'єкт, так і про систему відліку, у якій цей об'єкт вивчається. По-друге, не всі рівняння (а їх загалом десять) мають однаковий динамічний статус – шість із десяти рівнянь являють собою рівняння руху, а чотири мають статус цілком конкретних наслідків з рівнянь руху і є рівняннями зв'язку.

У механіці також є рівняння руху – другий закон Ньютона і наслідки з них – закон збереження енергії й імпульсу. Але при одержанні наслідку з рівнянь автоматично уводять вільний параметр – повну енергію системи, яка може бути довільною. Відмінність теорії гравітації, застосованої до Всесвіту в цілому, полягає в тому, що в ній теж є аналог закону збереження енергії, як наслідку рівнянь руху. Це якраз і є одне з чотирьох рівнянь зв'язку, додаткових до шести динамічних рівнянь. Але, на відміну від класичної механіки, для Всесвіту в цілому не можна задавати повну енергію довільно.

Рівняння Айнштайна містять жорстке твердження про рівність нулю енергії й імпульсу Всесвіту в цілому. ***Відмінності теорії Айнштайна від механіки полягають, зокрема, і в тому, що вона передбачає не лише закон руху, але і єдино можливі значення енергії й імпульсу Всесвіту в цілому.*** Цей факт і є наслідком симетрії, динамічна реалізація якої і приводить до рівнянь Айнштайна. Така структура теорії Айнштайна в її квантовому варіанті приводить до спеціальних обмежень на вектор стану або, як кажуть, на хвильову функцію Всесвіту, Ψ_B . У гамільтоновому формалізмі, де явно виділена роль часу, з'ясовується, що хвильова функція Ψ_B містить інформацію про імовірності станів геометрії 3-вимірного простору Всесвіту.

Отже, якщо будувати квантову теорію для Всесвіту в цілому за відомими правилами, то в нас з'являється рівняння

Шредінгера для хвильової функції Всесвіту $i\hbar \frac{\partial \Psi_B}{\partial t} = H_B \Psi_B$. Це

рівняння для Всесвіту в цілому, власне кажучи, є квантове узагальнення динамічних законів, що містяться в шести рівняннях Айнштайна. Статус геометрії саме 3-вимірного простору, як об'єкта квантового опису, є наслідок використання гамільтонового формалізму, в якому роль часу

виділена. Математично цей статус закріплюється тим, що оператор H_B , що називається супергамільтоніаном Всесвіту, залежить від узагальнених координат і імпульсів, які описують геометричні властивості 3-вимірного простору. Серед цих операторів узагальнених координат і імпульсів є й оператори, що відповідають тій геометричній характеристиці, яку раніше, у звичайній фізиці, ми називали макроскопічним тлом. Правда, тепер у нього немає статусу макроскопічного об'єкта, він описується разом із квантовими хвилями, що веде до специфічних особливостей, які виявляються при погляді на рівняння зв'язку –чотири з десяти рівнянь Айнштайна.

Одне з рівнянь зв'язку приводить до зовсім парадоксального висновку. Ефект рівності нулю повної енергії Всесвіту у квантовій теорії приводить до рівняння зв'язку: $H_B\Psi_B=0$. Здавалося б, що дивного в тому, що енергія всіх частинок плюс енергія вакууму в сумі з енергією гравітаційного поля дає нуль? Енергія гравітаційного поля Всесвіту, притаманна глобальній геометрії Всесвіту, точно компенсує внески в енергію всіх інших форм матерії і вакууму, і цей результат є точний наслідок теорії Айнштайна, наявних у ній симетрій. Однак якщо тепер подивитися на рівняння зв'язку $H_B\Psi_B=0$, яке саме цю ідею і виражає, і глянути на рівняння Шредінгера, то неважко зауважити, що хвильова функція Всесвіту перестає залежати від часу (її похідна по часу обертається в нуль). Таким чином, квантова динаміка в звичному для нас розумінні зникає, і цей факт є наслідком розгляду фонові геометрії як рівноправного об'єкта квантової теорії. Звернемо увагу, що **час зник, як тільки ми перестали розділяти Світ на класичну і квантову підсистеми!**

ПРОБЛЕМИ ПІЗНАННЯ. Здавалося б, ми діяли послідовно, використовуючи в процесі пізнання теорію, що описує світ, що спостерігається, і допускає поділ досліджуваного об'єкта на класичну і квантову підсистеми. Таке розщеплення єдиної системи складало невід'ємну частину процедури її дослідження. З'ясувалося, однак, що при екстраполяції на планківські

масштаби квантової теорії, апробованої в локально відтворених експериментах і побудованої для їхньої інтерпретації, такий поділ уже неможливий, і доводиться розглядати досліджувану структуру як єдину, істотно цілісну систему. Формально ми використовуємо відомі правила квантового опису об'єктів, переносячи їх на масштаби, де немає впевненості у виконанні умов застосовності теорії. Ці дії виправдуються тим, що інших інструментів пізнання ми просто не маємо. Однак, застосовуючи цей інструмент пізнання, ми дійдемо до парадоксального висновку про зникнення часу. Однак сам процес пізнання об'єкта вивчення, “речі-для-нас”, розгортається в часі! Та й існування цього об'єкта поза процесом його пізнання, як “речі-для-себе”, також мислиться нами в часі. Ця ситуація вимагає осмислення і, насамперед, з погляду можливості здійснення самого процесу пізнання.

Вище було зроблено формальну екстраполяцію, що однозначно привела до висновку про відсутність еволюції в часі хвильової функції Всесвіту. Можна або поставити під сумнів можливість самої екстраполяції, або спробувати надати цьому результату якийсь зміст з урахуванням специфічного статусу спостерігача усередині Всесвіту, адже відмовитися від процедури екстраполяції ніколи не пізно. ***Екстраполяція теорії за межі її застосовності повинна в цьому випадку розумітися не як інструмент пошуку наукової істини, а тільки як метод виявлення нових елементів реальності, початково не представлених у наявній базі знань.*** Застосування цього методу виправдане, якщо воно дає результати, принципово не з'ясовні в межах екстрапольованої теорії. Саме тоді ми зіштовхуємося з необхідністю пошуку в природі структур, прояв яких у локальних експериментах або відсутній, або не реєструється нашими приладами. Річ ясна, що хоча б переконатися в існуванні таких елементів цілісної структури Світу вже немало. Після цього можна цілеспрямовано шукати у Всесвіті, чи в самих собі, пояснення причин існування і природи функціонування фізичних структур, недоступних сучасної локальній квантовій теорії.

Не виключене також, що пошук пояснення цих причин піде іншим, не науковим шляхом пізнання. Схоже, що саме сьогодні (і тільки?) метод локального відтворюваного експерименту відповідає можливостям людини як суб'єкта, що пізнає. Інформація, одержувана з ході експерименту, селектується таким чином, щоб відібрати деяку, досить невелику її частину, сприйману мозком. Але межі можливостей людини-дослідника невідомі.

Світ складний і фундаментальна фізика кидає своєрідний виклик людському інтелекту. Бо ж тут – незбагненна складність досліджуваної системи, а кількість вакуумних структур і число виконуваних ними функцій настільки різноманітні, що важко піддаються людському сприйняттю.

Цікава, однак, така обставина. Природа (чи Бог?) наче підказують нам – з'ясуйте якомога більше спочатку в рамках лабораторного експерименту щодо природи квантової цілісності, знайдіть способи динамічного опису непертурбативного вакууму і, можливо, після цього у вас у руках буде інструмент, за допомогою якого ви зможете проаналізувати процес народження Всесвіту. З урахуванням усіх цих уявлень про спорідненість проблем в дуже різних масштабах, прокоментуємо відоме висловлення Альберта Айнштейна: “Бог витончений, але не зловмисний”. У ньому *під словом Бог Айнштейн, здається, мав на увазі певну систему фундаментальних принципів, якими визначається функціонування нашого світу*. Хоча, звичайно, сучасна фундаментальна фізика дозволяє дуже широко трактувати поняття Бога, але в даний момент нам цілком достатньо і такого розуміння. *Витонченість Бога виявляється в тім, що Він створив світ з дуже складною ієрархічною і взаємообумовленою структурою*. Можливо, настільки складною, що опис цієї надструктури набором досить простих динамічних законів з використанням представлень про локальну взаємодію об'єктів квантової природи здається, щонайменше, найвним і найвищою мірою наближеним. Однак Бог не зловмисний і підказує нам підхід до вивчення створеного Ним

Світу. Першу вказівку на це можна вбачати, наприклад, в єдиній квантово-топологічній природі вакуумних структур, зформованих у ході еволюції Всесвіту в істотно різних масштабах.

Крім квантово-топологічної єдності цих ефектів, Бог натякає і на методологічне споріднення відповідних динамічних задач. Для розуміння динамічної еволюції КХД-вакууму в реальному часі потрібні нові принципи квантової динаміки, але нові принципи також потрібні і для аналізу явищ на іншому кінці шкали енергій. Так Бог дає шанс для пізнання світу, використовуючи доступний нам метод локально відтворюваного експерименту. Сьогодні цей метод – єдиний з доступних людині для наукового пізнання Світу. Виявляється, що цей метод дозволяє нам продовжити процес пізнання, Бог не створив поки що ситуацію, яка зупинила б процес пізнання – Він не зловмисний!

Отже, сьогодні ми можемо тільки екстраполювати відомі на сьогодні математичні і логічні схеми на околицю сингулярності. Предметом подальшого розгляду стають конкретні питання, що виникають при такій екстраполяції, і властивості математично моделей за межами тих фізичних ситуацій, аналіз яких був метою їхнього вихідного формулювання. Результати, отримані шляхом такої екстраполяції, і являють собою зміст сучасної теорії Всесвіту в цілому чи квантової геометродинаміки (КГД)”.(за тою ж книгою).

11. Життя: проблема біохімічна і математична

Усі знаємо, ким був француз Вольтер – войовничий ніби то безбожник. Але ж він розмірковув і так: «Для всезагального добра необхідний Бог, який нагороджує і карає. Без такого Бога ми залишалися б у бідах без надії, у пороці без докорів сумління. Хто визнає, що віра в Бога стримає хоч декількох людей від злочинів, той визнає, що ця віра повинна бути прийнята усім людством. Ви боїтеся, що віра в Бога приводить до марновірства і духа переслідування; але чи не треба боятися ще більше того, що людина, яка заперечує Бога, робиться жертвою ще дикіших пристрастей і жахливіших злочинів?

Турбуйтеся про те, щоб віра не принизилася до забобону і до релігійного переслідування. Спаси нас, Боже, від служителя релігії, який умертвляє свого короля освяченим кинджалом, але спаси нас і від гнівного і жорстокого деспота, який, не віруючи в Бога, є сам для себе бог».

І ще його ж: «Хто твердо вірить у Бога, який нагороджує за добре і карає за злочин, той затремтить в момент, коли він вже буде готовий убити невинну людину, і ніж випаде з його рук... Визнання Бога – засіб проти суспільної анархії і зловживань. Атеїзм – спокуса для маси, жахливе знаряддя політичної аморальності і політичного цинізму для правлячих верхів... Атеїзм є дуже небезпечним страховиськом в засобах тих, хто керує... Не настільки темний, як фанатизм, атеїзм завжди є фатальним для чесноти».

Представники двох природничих наук – астрономії і біології, розширюючи межі своїх досліджень “у просторі й часі”, хоч-не-хоч змушенні “зазирати в огород сусіда”. З одного боку, *біолог*, аналізуючи висновки щодо зміни форм життя на Землі упродовж сотень мільйонів років, стикається з питанням про роль у цьому хімічного складу земної атмосфери, фізичних умов на поверхні планети, коливань клімату в цілому (які можуть пов’язані з особливостями руху планети навколо Сонця, точніше з циклічними змінами “витагнутості” земної орбіти і її положення відносно зір), зрештою – влітання в земну атмосферу

метеорних тіл або ж спалахів, у близькому сусідству із Сонцем, наднових зір. Свідомо чи несвідомо, біолог приймає до уваги: все живе на планеті, та й ми зокрема, “збудовані із попелу давно згаслих зір”...

Зі свого боку, *астроном* дуже часто зобов’язаний відповідати на питання “чи є біля інших зір такі ж планетні системи, а якщо так, – чи є життя за межами Землі?”. Отже, він повинен мати уявлення про найголовніші характеристики живого, про сучасні погляди на проблему появи життя на Землі. А воно ж – вражає своїм розмаїттям. Адже у наш час на Землі налічено близько 600 тисяч видів рослин і близько 1,5 млн видів тварин, з них понад 1 млн – це різні види комах.

Сто років тому характеризували життя як спосіб існування білкових речовин. Із середини ж ХХ ст. центр уваги зміщено на нуклеїнової кислоти, зокрема на ДНК – дезоксирибонуклеїнову кислоту. Адже в ній закодовано інформацію і про “будівельні матеріали” (білки), з яких будується живий організм (це досліджено вже досить детально), і про загальний архітектурний план будови (де і як це записано, – дотепер ще не з’ясовано!).

“Основною цеглиною” будови живого організму, як відомо, є клітина. З одного боку, це – хіміко-біологічна лабораторія, де неперервно відбуваються десятки тисяч реакцій, в яких приймають участь майже 100 000 молекул різних ферментів (білків). Та куди важливішим виявилось наголосити інше: ***клітина, точніше її молекула ДНК, – це дивовижний сховок інформації***, опис якої складає велику бібліотеку! Образно кажуть, що клітина – це своєрідне видавництво, де відбувається неперервне розмноження і редагування складних текстів, їх переклад з однієї мови на іншу і передача цієї інформації “у різні інстанції”. У клітині зберігаються повні і конкретні дані про ту чи іншу живу істоту, про її загальний вигляд, про будову її окремих органів та про всі системи життєзабезпечення: яким має бути скелет в організмі, які м’язи, якими (скажімо конкретно – для людини) повинні бути властивості шкіри (щоб захищати тіло від бактерій, виділяти піт, здійснювати поверхневе дихання та як “самолікуватися” при її

пошкодженні!), яким (до тонкощів) мають бути будова і принцип роботи серця, легень, печінки і т.д., як буде збудоване вухо чи око і де ці органи мають бути розміщені, щоб це і для організму було зручно, і щоб збоку виглядало гарно! І, якщо це стосується людини, то також і її здатність писати драми і сонети, малювати картини, вивчати навколишній Всесвіт і будувати космічні кораблі!

Отже йдеться про фантастичну кількість інформації, сконцентрованої у малесенькій краплині речовини, інформації, закодованій у певній молекулі, і то так, що там же є механізм і засоби її відчитування, декодування та реалізації. Питання, отже, в тому, чи здатна нежива матерія шляхом самоорганізації утворювати певні складні молекулярні структури, окремі компоненти якої стикалися між собою у потрібних концентраціях? Щоб ця сліпа і темна стихія дала їм те, чого не має сама, - осмисленість та інформацію. Це питання якраз з'ясовує математика, зокрема – теорія імовірності як галузь математики, що займається пошуком відповідей на питання типу: можна чи ні очікувати позитивний результат при повторенні певних дій.

ПРОТИСТОЯННЯ КОСМОСІВ. Далі переконаємося в тому, що якби Природа “всліпу” перебирала всі можливі варіанти, то для побудови не те що усього “Космосу живих форм”, а лише однієї його “цеглинки” – клітини – не вистачило б речовини, наявної у всьому “Великому Космосі зір і галактик”.

Передусім констатуємо декілька вже з'ясованих чисел. У тілі людини налічують близько 10^{27} атомів. Людина – це чітка допасованість 100 видів клітин, загальне число яких сягає 10^{16} . У клітині $10^{12} - 10^{14}$ атомів, в молекулі ДНК їх близько 10^{10} .

Ще декілька чисел. Близько 0,5% клітин щодоби “виходять з ужитку” демонтують самі себе, а це – 300 млрд. Як зазначив Д. Раваліко у книжці “Сотворення – не казка” (1984) “якщо їх вкласти одна за одною, то вийде намисто довжиною 3000 км”

В якості “будівельного матеріалу” для білків використовується 20 амінокислот (АК) хоча в природі їх є 200.

Синтез одної молекули білка триває 3-4 секунди, так що наявні в людському організмі 17 кг білка поновлюються за 80 діб. Як кажуть, за своє життя людина оновлює увесь свій білок близько 200 разів (річ ясна, навіть не усвідомлюючи цього).

Зазираючи ж у “сучасну” клітину, визнаємо: білок із 100 АК – “не для нас”. При середній молекулярній масі одної АК $\mu \approx 15$ отримуємо молекулярну масу такого білка усього 1500. Тим часом нижньою межею цієї характеристики вважається сполука з $\mu \approx 6000$, тоді як верхня сягає 2 000 000. Скажімо, для гамма-глобуліну сироватки крові це 160 000, для лактоглобуліну 27 000 (склад цього білка такий: $C_{1864} H_{3012} N_{68} S_{21}$ його наводимо, щоб проілюструвати, як оцінити число μ - узявши з таблиці Менделєєва атомні маси елемента, помножити їх на їхню кількість у молекулі і скласти).

Цілу низку питань, що стосується “Космосу живих форм”, вдало і доступно висвітлив Раваліко у згаданій книжці “Сотворення – не казка”. У ній, зокрема, читаємо (с. 28): “Людське тіло, складене з 60 тисяч мільярдів живих клітин, з яких кожна є казково складна, – це одна жива галактика. Вона може себе розбудувати, розпочинаючи з одної лише клітини, на основі програми того всього, що має бути виконане; воно записане на стрічках ДНК, зібраних в одному керівному центрі. Той центр дбає про всі “плани будови”, щоб розпланувати будову різних органів, щоб координувати їхню діяльність та вводити в дію всю оту біологічну систему”.

В іншому місці (с. 57) цей автор ставить дуже слушні питання: “Звідки така організованість взялася? Нині ми бачимо, що клітина сама себе розбудовує, використовуючи власні плани будови, власні технічні інформації та власну програму, яку записано на її стрічці ДНК, Звідки беруться оті “плани”, оті інформації, ота складна програма?... Невже можливо доказати, що цей твір надлюдської інтелігентності завдячується неінтелігентності, безглуздю сліпого випадку?”. І, нарешті, (с. 87): “Відкриття ДНК було дошкульним ударом для тих, які визнають матеріалістичний атеїзм... ДНК є вершиною див

природи. Матеріалістичне пояснення про самочинне виникнення життя є вершиною людського безумства”.

Про що тут йдеться? А про те, що, обговорюючи фантастичну складність “Космосу живих форм” (зокрема – й окремої клітини), ми сьогодні усього лише з’ясуємо дивовижну здатність клітини (живого організму в цілому) готувати, для себе ж, окремі “будівельні блоки” (типу “за ось цим рецептом, з цього місця в ДНК, виготовимо шебінь”, “з цього – дерев’яну балку”). Однак ми все ще не маємо жодного уявлення про те, де і як записано “архітектурний план” організму (та й окремих його органів), не знаємо, як в окремій клітині (хоча в ній є всі хромосоми, вся ДНК) здійснюється установка на те, “ким їй, цій клітині бути”, “яке місце у цій світобудові зайняти”. Тобто, ми не знаємо, як тут здійснюється “блокування” одних “рецептів будівництва” і як “подається директива” на розбудову “саме цього і саме тут”!!!

Чи то ця проблема біології якось, замовчується? Соромливо оминається? Але ж вона “криком кричить”, хіба не так? Її ж назва – *проблема формогенезу*...

Але навіть якщо в питанні формогенезу ніхто і нічого сьогодні сказати не може, то є інше – великі, справді космічні числа у варіантах “монтування” окремих блоків, необхідних для появи (і подальшого самовідтворення) конкретної клітини зі світу живих форм.

МОВОЮ ІНФОРМАТИКИ. На думку багатьох фахівців життя найглибше можна збагнути і висловити лише засобами і мовою *кібернетики* – науки про загальні закони одержання, зберігання і перетворення інформації у складних керуючих системах. Найповніше ці ідеї висловив Й.С.Шкловський у книжці “Вселенная, жизнь, разум” (з 1962 по 1987 рр. її перевидано шість разів). Ось їх стислий переказ.

Як прості одноклітинні, так і найскладніші організми пристосовані, до виживання, незважаючи на те, що ззовні вони безперервно піддаються подразненням, з яких багато руйнівних. Кажемо: певна “керуюча система” організму отримує про них

інформацію у формі закодованих сигналів, переробляє її, створює нову інформацію, яка спрямована на самозбереження (виживання), і посилає її назвні. А водночас і ту, і іншу вводить у “запам’ятовуючий пристрій” (в пам’ять), що дозволяє в подальшому співставляти “нове” зі “старим”. Матеріальними носіями, усієї цієї інформації є окремі молекули.

Тому російський вчений О.О.Ляпунов дав таке визначення: ***життя – це високостійкий стан речовини, який використовує для вироблення зберігаючих реакцій інформацію, що кодується станом окремих молекул.***

Однак з досвіду знаємо, що будь-яке відхилення від рівноваги, яке можна розцінити як певний “запис інформації” з часом зникає. Так, принесений у кімнату нагрітий шматок металу охолоджується, а холодний нагрівається до температури навколишнього середовища (точніше це звучить так: настає вирівнювання температури). Тому, щоб зберегти певний інформаційний сигнал, організм повинен протидіяти цим руйнівним процесам, затратити для цього певну енергію, яку він і отримує – ззовні завдяки обміну речовин.

Виходячи з цих міркувань, Й.С.Шкловський і підкреслив, що старі уявлення про життя неправильні, оскільки вони усього лише ототожнювали його з обміном речовин. А це нічого не давало, зокрема, для розуміння якісного стрибка від неживого до живого: “Запас інформації для забезпечення зберігаючих реакцій не може виникнути в організмі самовільно. Новий організм ***отримує*** її, як і першопочаткову керуючу систему в ***готовому вигляді***. Звідки? Від батьків... З гіпотезою Опаріна сьогодні погодитися важко. Достаток на Землі в минулому різноманітних складних “будівельних блоків” ще ***не пояснює***, як виникла і стала функціонувати жива машина... Думати, що зовсім випадково, шляхом “перегрупування” окремих блоків – багатоатомних молекул може виникнути праДНК і погрібний для її функціонування комплекс білків-ферментів, – значить вірити в чудо. Імовірніше, що мавпа створить 66-й сонет Шекспіра”.

Цей текст дуже цікавий і то вже “від першої літери”. Хоча б: чому Й.С.Шкловський узяв за приклад саме один із сонетів Шекспіра і – чому якраз 66-й сонет? Наведемо його в перекладі Дмитра Павличка (є ще й переклад, в окремих місцях виразніший, Дмитра Паламарчука):

Я кличу смерть – дивитися набридло
На жебри і приниження чеснот,
На безтурботне і вельможне бидло,
На правоту, що їй затисли рот,
На честь фальшиву, на дівочу вроду
Поганьблену, на зраду в пишноті,
На правду, що підлоті навдогону
В бруд обертає почуття святі,
І на мистецтво під п'ятою влади,
І на талант під наглядом шпики,
І на порядність, що безбожно краде,
І на добро, що в зла за служника!
Я від цього всього помер би нині.
Та як тебе лишити в самотині?!

Напевне, гортаючи сторінки згаданої книги Й.С.Шкловського, не один читач і собі співставляв із текстом цього сонета тодішню (1962 р., як і до і після нього) навколишню дійсність...

КІЛЬКА ВИЗНАЧАЛЬНИХ ФОРМУЛ. При обговоренні можливостей перебігу тих чи інших хімічних процесів, що мали б завершитися появою на Землі живих організмів, найчастіше використовують такі математичні поняття як перестановка P , розміщення A , комбінація C , число варіантів W , імовірність p . Йдеться про аналіз різних варіантів групування (поєднання) окремих елементів (атомів) у молекули чи певних молекулярних (“базових”) сполук у значно складніші структури. Формули тут запишемо, виходячи з найелементарніших розмірковувань.

А). Перестановки. Оцінимо передусім, скільки можливостей щодо взаємного розташування двох гостей

(назвемо їх M і H) має господар дому Γ , якщо біля столика є три крісла (позначимо їх 1, 2 і 3). Очевидно, є такі варіанти:

1) господар займає крісло 1, гість M – крісло 2, H – крісло 3 (будемо надалі позначати це так: $M \rightarrow 2, H \rightarrow 3$) або ж $M \rightarrow 3, H \rightarrow 2$. Тобто, узявши до уваги лише гостей, знаходимо число перестановок $P = 2$.

2) Господар займає крісло 2 ($\Gamma \rightarrow 2$), тоді як $M \rightarrow 1, H \rightarrow 3$ або навпаки, $M \rightarrow 3, H \rightarrow 1$. Нарешті,

3) $\Gamma \rightarrow 3$, тоді $M \rightarrow 1, H \rightarrow 2$ або $M \rightarrow 2, H \rightarrow 1$. Загалом же, як бачимо, може реалізуватися шість варіантів.

Уточнимо сказане: мова тут йшла про *перестановки* об'єктів (елементів задачі). Якщо цих об'єктів n , то всі вони рівноправні і в кожному з варіантів розміщень певний об'єкт з'являється лише один раз. При довільному n формула для перестановок має вигляд:

$$P_n = n! \quad (1)$$

Де запис $n!$ читають “ен факторіал”. Обчислення ж $n!$ здійснюються за формулою

$$n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (n-1) \cdot n.$$

Конкретно при $n=3$ маємо $P_3 = 1 \times 2 \times 3 = 6$; якщо $n=4$, то $P_4 = 1 \times 2 \times 3 \times 4 = 24$; $P_5 = 5! = 120$. Далі, зокрема,

$$10! = 3\,628\,800 \approx 3,63 \cdot 10^6; \quad 100! \approx 9,54 \cdot 10^{157}.$$

Як бачимо, знаходження факторіалів чисел, більших від 10, – річ нелегка. На щастя, як це виявив шотландський математик **Джеймс Стерлінг** (1692–1770), при великих n факторіал n можна знайти (з незначною похибкою) за формулою

$$n! \approx \sqrt{2\pi n} n^n \cdot e^{-n} \approx 2,51 \sqrt{n} \left(\frac{n}{e}\right)^n. \quad (2)$$

$$\text{Тут } \pi = 3,142, \quad e = 2,718.$$

Запам'ятаймо: зі збільшенням кількості елементів задачі число перестановок різко зростає.

Б). Розміщення і комбінації. Формули для *розміщення* з n елементів по m , тобто A_n^m – і *комбінацій* (=сполучень) з n елементів по m , тобто C_n^m – мають відповідно вигляд

$$A_n^m = \frac{n!}{(n-m)!}, \quad (3)$$

$$C_n^m = \frac{A_n^m}{P_m} = \frac{n!}{(n-m)!m!}. \quad (4)$$

Так що $A_n^m = C_n^m P_m$.

Як приклад, візьмо випадок $m=3$ при $n=5$. Тут $C_5^3 = 10$, а при $P_3 = 3! = 6$ маємо $A_5^3 = 60$. Розглянемо уважніше ці числа, прийнявши в якості елементів п'ять літер – К, Л, М, Н і П, Десять різних сполучень по 3 такі: КЛМ, КЛН, КЛП, КМН, КМП, КНП, ЛМН, ЛМП, ЛНП і МНП. Зауважуємо, що кожную літеру при цьому використано шість разів, однак поєднання будь-яких трьох літер зустрічаємо лише один (!) раз. Оскільки ж, як продемонстровано вище, з трьох елементів можна скласти шість різних перестановок – $P_3 = 6$, то розміщень з п'яти елементів по три і буде 60: $A_5^3 = 10 \times 6 = 60$.

Прийmemo до уваги сполучення засвідчують кількість випадків, в яких певний елемент бере участь у формуванні складнішої системи, розміщення враховують усі можливі варіанти положень цього елемента в групі. Однак в обох випадках цей елемент в конкретній групі не повторюється двічі або більше разів!

В). Число варіантів. Особливої уваги заслуговує питання про кількість можливих варіантів W і про формулу, за допомогою якої її можна оцінювати. Для початку прийmemo, що в нас – дві літери: Л і М. Перебираючи клавіатуру машинки, можемо зконструювати таке: ЛЛ, ММ, ЛМ, МЛ, тобто чотири варіанти. Якщо літер три – Л, М і Н, але їх знову треба записати по дві, маємо: ЛЛ, ММ, НН, ЛМ, ЛН, МЛ, НЛ, МН і НМ – усього дев'ять. Узагальнюючи, скажемо: кожна така задача має дві незалежні характеристики: m – число літера в алфавіті (у біології – загальне число атомів чи певних “базових сполук”, як ось амінокислоти – АК і N – кількість знаків у тексті – складових у молекулі, тобто повна кількість атомів чи тих же

“базових сполук” у ній), завдяки яким і утворюється n W варіантів. Тобто

$$W = m^N \quad (5)$$

Інакше кажучи, число літер множимо “на себе” N разів:

$$W = \frac{m \cdot m \cdot m \cdot \dots \cdot n}{N}$$

У першому з наведених прикладів $m=2$, і $N=2$, тому $W=2^2=4$, в другому $m=3$, $N=2$ і $W=3^2=9$.

Г). Імовірність. За кількістю можливих варіантів W , які зокрема “всліпу” мала б перебрати природа для “монтування” складних блоків – важливих компонентів світу живих форм, імовірність події відповідно оцінюється як

$$p = \frac{1}{W}. \quad (6)$$

Тепер вже слід прийняти до уваги, що кожний з елементів (як ось літера К чи М і ін.) може бути використана всі m разів або ж $m-1$, $m-2$ і т.д., врешті-решт 0 разів.

Далі, річ ясна, надзвичайно важливою є оцінка кількості літер (атомів чи “базових сполук”) Z , використаних для перебору всіх варіантів. І, якщо процес перебігає зі швидкістю v (ударів по клавіатурі і друкарської машини чи реакцій з’єднання атомів або сполук за секунду), можна оцінювати й час T , затрачений на “реалізацію проекту”. Очевидно, що

$$Z = WN, \quad T = \frac{Z}{V} = \frac{WN}{V} \quad (7)$$

Приймаємо до уваги, що 1 рік = 32 000 000 секунд = $3,2 \cdot 10^7$ с.

Пропонуємо Читачеві розглянути складніші, ніж було наведено, приклади. Ми ж з’ясуємо, скільки часу потрібно було б мавпочці, щоб, “барабанячи всліпу” зі швидкістю 10 ударів за секунду по клавіатурі україномовної машинки (в якій – 33 літери плюс інтервал, отже $m=34$), щоб отримати тексти: 1). “Я вчуся”, 2). “Я вчуся читати”, 3). “Я вчуся читати і писати” і 4). “Я вчуся читати і писати у школі”.

Уточнюємо: у всіх випадках $m=34$. Далі: $N_1=7$, $N_2=14$, $N_3=23$ і $N_4=31$. Використовуючи формули (6) і (7), знаходимо

$$W_1=5 \cdot 10^7, \quad Z_1=3,5 \cdot 10^8, \quad T_1=10 \text{ років}$$

$$W_2=2,5 \cdot 10^{21}, \quad Z_2=3,5 \cdot 10^{22}, \quad T_2=10^{14} \text{ років}$$

$$W_3=1,6 \cdot 10^{35}, \quad Z_3=3,6 \cdot 10^{36}, \quad T_3=10^{28} \text{ років}$$

$$W_4=2,7 \cdot 10^{47}, \quad Z_4=8,4 \cdot 10^{48}, \quad T_4=3 \cdot 10^{47} \text{ років}$$

(запис 10^{14} можемо відчитати такі, одиниця і 14 нулів за нею).

Після всього цього вже маємо змогу оцінити зусилля мавпочки, яка, “виконуючи побажання Й.С. Шкловського”, “намагається створити” 66-й сонет Шекспіра. Тут $N=490$ і при $m=34$ знаходимо

$$W=5 \cdot 10^{749}, \quad Z=2,5 \cdot 10^{752}, \quad T=7,7 \cdot 10^{743} \text{ років.}$$

В англійській абетці 26 літер. Отже, при $m=27$ і орієнтовно тому ж $N=490$ (англомовного тексту “під руками” поки що не маємо) знаходимо:

$$W_a=5 \cdot 10^{700}, \quad Z_a=2,5 \cdot 10^{702}, \quad \text{і } T_a=7,7 \cdot 10^{694} \text{ років.}$$

Тож принагідно можемо іронізувати: україномовна мавпочка, щоб створити сонет Шекспіра, мала б трудитися у 10^{49} разів довше, ніж англійська!

Нагадаємо: вік Всесвіту оцінюють в 15 млрд років ($1,5 \cdot 10^{10}$ років). Усього лише...Не встигне бідолаха...

ПРО КІЛЬКІСТЬ ІНФОРМАЦІЇ. Для аналізу розглянутих вище задач використовують також поняття *кількість інформації* H . За одиницю виміру тут приймають *біт* (від англійського binary digit – двійкове число, що однозначно встановлює одну з двох можливостей: випаде “орел” чи “решка” при киданні монети). В загальному

$$H=3,32 \lg W \text{ біт.} \quad (8)$$

Встановлено, що людина здатна сприймати інформацію до 25 біт/с. А на одній сторінці наукової статті налічують декілька сотень біт інформації.

Ось дві ілюстрації на цю тему, запозичені з книги чеського вченого Вацлава Крейчі “Світ очима сучасної фізики” (М., Мир, 1984, с. 273). Розгадка того, яку з 32 карт виділив для себе гравець, містить 5 біт інформації. З’ясовуємо це, здійснюючи послідовно поділ розкладеної в ряд колоди карт спочатку на “ліву” і “праву” половини і ставлячи питання “в котрій з них ця карта?”. Відповідь і дає один біт інформації. Далі цю половину

ділимо знову навпіл, ставимо те ж питання, отримуючи 2-й біт. Після цього ділиться навпіл група з 8 карт, тоді з 4-х і, нарешті, з двох, цей останній 5-й поділ і визначає шукану карту.

А ось оцінка кількості інформації, що характеризує найпростіший живий організм. Якщо виключити воду (в організмі дорослої людини її 60%) то відносний вміст “найголовніших” 15-ти хімічних елементів у живій речовині такий; 50% вуглецю, 20% кисню, 14% – азоту, 8% – водню, 3% – фосфору. І ще 5% – це в сукупності кальцій, калій, хлор, магній, сірка, натрій, залізо, цинк, кобальт і марганець (всі інші для нижчих форм життя начебто “не обов’язкові”). Висушений найпримітивніший живий організм має об’єм 10^{-14} см³, один атом займає об’єм орієнтовно 10^{-23} см³. “Отже цей організм складається з $10^{-14} / 10^{-23} = 10^9$ “комірок”, в кожній з яких або є один атом, або ж вона порожня. І якщо імовірність усіх 16 можливостей однакова, то для “заселення” кожної комірки необхідно 4 біти інформації. Для побудови ж усього організму – гігантське число $4 \cdot 10^9$ (тобто 4 млрд.) біт”.

ДЕКІЛЬКА ПРИКЛАДІВ ОБЧИСЛЕНЬ. Річ ясна “для початку” найдоцільніше не розглядати ту чи іншу задачу самотужки, а провести аналіз результатів, отриманих іншими дослідниками. Ось вони.

Підхід Г. Кастлера. Під назвою “Життя не може бути випадковістю” провів аналіз задачі про самозародження живого американський учений **Генрі Кастлер** (див. зб. “Населённый Космос”, М., Наука, 1972, с. 34): Було прийнято, що це самозародження могло б відбуватися в об’ємі води $V = 5 \cdot 10^{18}$ см² x 100см = $5 \cdot 10^{20}$ см³ (прийнято, що вся поверхня Землі вкрита шаром води товщиною 1 м і в цьому “густому, теплому і солоному бульйоні” вже були найрізноманітніші органічні молекули – амінокислоти, поліфосфати, піримідини тощо. Прийнято далі, що найменший об’єм сукупності компонентів співмірний з об’ємом бактерії, тобто це $1 \cdot 10^{-12}$ см³. Отже, кількість ділянок, придатних до випадкового утворення живих структур, сягає $5 \cdot 10^{32}$. Тривалість часу, “за який виникає життя”,

прийнято в 2 млрд. років = $2 \cdot 10^{13}$ год., а саме утворення макроструктури живого – 1 год. Отже, найбільше можливе значення числа випадків, при яких зародилося б життя, мало б сягати 10^{46} .

Отож за Г. Кастлером, “дуже занижена, оцінка, обсягу інформації у простому живому організмі, який розглядається як упорядкована система згаданих блоків, становить 1000 біт, що відповідає імовірності 10^{-301} ”.

Отже, імовірність виникнення життя внаслідок випадкової реалізації якоїсь однієї зі згаданих 10^{46} подій, наближено рівна – 10^{-255} ”.

Тим часом “досить сказати, що будь-яка подія такого типу, про які йде мова, повинна відбутися, якщо її імовірність більша, за 10^{-10} , і не повинна відбутися..., якщо ця імовірність менша від 10^{-50} ”. Висновок такий: з отриманого значення імовірності 10^{-255} “впливає фактична неможливість появи життя внаслідок випадкового поєднання молекул” (див. також статтю О. Петренка у журн. “Людина і світ” №11-12 за 2002р.).

Розмірковування В.Крейчі. У свою чергу, вже згаданий чеський учений **Вацлав Крейчі** розглянув формування молекули білка усього лише з 60 амінокислот. Оскільки тут є $W=20^{60} = 10^{78}$ різновидів, “які відрізняються від інших принаймні однією АК”, а молекула цього білка має об’єм близько $2 \cdot 10^{-26} \text{ м}^3$, то в кубуку з ребром 0,001 мм їх вміститься близько 50 млн. І все ж “їх повна колекція зайняла б об’єм $2 \cdot 10^{26} \times 10^{78} = 2 \cdot 10^{52} \text{ м}^3$, що рівне об’єму сфери близько 1,8 світлового року, маса якої перевищила б масу всіх доступних для спостережень галактик”.

Цьому автору довелося сформулювати висновок так: “Звідси ясно, що в природі існує реальна можливість використати в ході природного добору лише нікчемно малу частку всіх теоретично можливих білків”.

Оцінки Д. Раваліко. У двох варіантах у згаданій вище книжці (с. 66 і 68) Д. Раваліко проводить обчислення формування молекул білка з 539 амінокислот і з’ясовує, що

навіть часу 300 млрд років є надто мало для реалізації цього процесу (покладає, що в кожному кубосантиметрі води океану з'єднується один мільйон протеїнів за секунду).

Доречно, однак, звернути увагу на деякі неточності цього тексту. Пов'язані вони з тим, що замість обчислень усіх можливих варіантів для випадку “текст складається з N літер при m літерах алфавіту” тобто за формулою (6), автор обчислює можливі перестановки за формулою (1). Цим, річ ясна, кількість варіантів може бути істотно зменшена. Бо ж насправді певна АК (з 20 можливих!) може бути “вмонтована” двічі, тричі і т.д., тоді як інша – жодного разу. В іншому місці обчислено факторіал числа 539 – загальної кількості АК в молекулі, хоча знову ж таки йдеться про варіанти тексту з $m=20$ літер. Аналіз можливості “самомонтування” складних молекул, наявних у живій клітині, знаходимо і в статті російського вченого **Д.С.Чернавського** (журнал “Успехи физ. н.”, 2000 т.170, №2, с.161): “Припустимо, що в первинному гіперциклі механізм кодування був таким же, як і в сучасній біосфері, тобто містив понад 100 білків. Кожен з них складається з близько 100 амінокислот. Для їх кодування необхідна ДНК, що налічує 60 000 нуклеотидів. Якщо прийняти це..., то імовірність випадкового виникнення такої ДНК рівна

$$p = 4^{-60\,000} = 10^{-40\,000}.$$

Річ ясна, це абсурдно мала величина”.

Появу тут числа 60 000 легко з'ясувати, розписавши його як $100 \times 100 \times 6$: для синтезу цих 100 білків по 100 АК потрібно всього 10 000 АК. А кожна з них на здвоєній (!) стрічці ДНК кодується “двічі” по три літери) як знаємо, напроти літери А завжди стоїть Т, літери Г – Ц, і навпаки).

Всупереч сказаному вище зазначимо: хоча об'єктивно число $10^{-40\,000}$ є справді малим, то лише залежно від того, “в якому ракурсі його розглядати”. Бо автори таких текстів “приховано” беруть найпростішу клітину, в яку згодом Природа за мільярди років мала б вносити певні ускладнення, збагачуючи “форму і зміст” життя.

Загальне зауваження. Як вже зазначено вище, формальні обчислення з використанням, формул (1) – (8) можна проводити з двох точок зору: 1) задаючи середню швидкість “монтування” складної структури, обчислювати час, необхідний для одержання бажаної концентрації, і 2) розраховуючи всі можливі варіанти, визначати кількість необхідних атомів і порівнювати результат із загальною їх кількістю у Всесвіті, досяжному для спостережень.

Цей другий підхід є нагляднішим і переконливішим. Маємо пам’ятати, що число атомів у доступному для спостережень Всесвіті $N \approx 10^{80}$. Знайдене воно з елементарних міркувань: середня густина речовини $\bar{\rho} \approx 10^{-29}$ г/см³, радіус $r_B \approx 10^{28}$ см., отже об’єм доступної для спостережень частини Всесвіту $V_B \approx 10^{85}$ см³ і маса, “охоплена” цим радіусом $m_B = V_B \bar{\rho} = 10^{85} \times 10^{-29}$ г. = 10^{56} г. Поділивши її на масу протона $m_p = 1,7 \cdot 10^{-24}$ г, і знаходимо вказане число $N \approx 10^{80}$.

Отже, якщо “монтується” усього лише одна молекула гемоглобіну з 539 амінокислот, а кожна в середньому складається з 13 – 20 атомів, і якщо всі можливі варіанти перебираються “всліпу”, то: у відповідності з формулами (6) і (7) кількість варіантів буде $20^{539} = 2 \cdot 10^{701}$.

На це піде $Z = 539 \times 2 \cdot 10^{701}$ амінокислот, або ж $N = 10^{705}$ атомів. В доступному для спостережень Всесвіті їх усього 10^{80} . Як бачимо, такі обчислення ведуть до важких розбіжностей між “наявністю” і “потребою”. У клітині ж білків десятки тисяч, і складових частин у деяких із них значно більше...

Висновок з усього, тут сказаного, може бути лише один: ***Природа не перебирає можливі варіанти, для цього в неї немає ні часу, ні ресурсів. Тому є всі підстави вести мову про строгу цілеспрямованість процесу формування складних хіміко-біологічних структур “від початку”.***

Тож не дивно, що в сучасному підручнику “Загальна біологія” для X – XI класів М.Є. Кучеренка та ін. (К., Генеза, 2000) прямо зазначено, що “*питання про суть життя не вирішене і понині*”.

Список використаної літератури

1. Бабушкин В.У. О природе философии. М., 1978:
2. Белокуров В.В., Широков Д.В. Теория взаимодействия частиц. М: Наука, 1986:
3. Бобильов Ю.П. Концепції сучасного природознавства. К., 2003:
4. Бунге Марио. Философия физики. М., 1975:
5. Годский Д.П., Ивин А.А., Никифоров А.Л. Краткий словарь по логике. М., 1991:
6. Девис П. Суперсила. М., Мир, 1989
7. Карцев Вл. Приключения великих уравнений. М., 1970:
8. Клайн М. Математика: поиск истины. М., 1988, 296 с:
9. Кузьмин З.Е. Законы и формулы физики. К, НД., 1989, 862 с.:
10. Латыпов Н.Н., Бейлин В.А., Верешков Г.М. Вакуум, элементарные частицы и Вселенная (в поисках физических и философских концепций XXI века). М., МГУ, 2001:
11. Мухин К.Н. Занимательная ядерная физика. М., 1985:
12. Новиков И.Д. Как взорвалась Вселенная. М., 1988:
13. Очерки развития основных физических идей. М., 1959,:
14. Розенталь И.Л. Геометрия, динамика, Вселенная. М., 1987:
15. Розенталь И.Л. Элементарные частицы и структура Вселенной. М., 1984:
16. Смородинский Я.А. Физика наших дней. М., 1972:
17. Сонин А.С. Постигание совершенства. М. 1987, 208 с.:
18. Суханов А.Д. Лекции по квантовой физике. М., ВШ., 1991:
19. Федоренко А.М. Теоретична фізика. Т. 2., К., 1993, – 416 с.:
20. Фейнман Р., Лейтон С., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 1., М., Мир, 1976:
21. Физика микромира. МЭ., М., 1980:
22. Физическая энциклопедия. М., 1964:
23. Философия: справочник студента. М., 1999:
24. Чернин А.Д. Физика времени. М., 1987:
25. Шафрановский И.И. Симметрия в природе. М., 1985, 168 с.