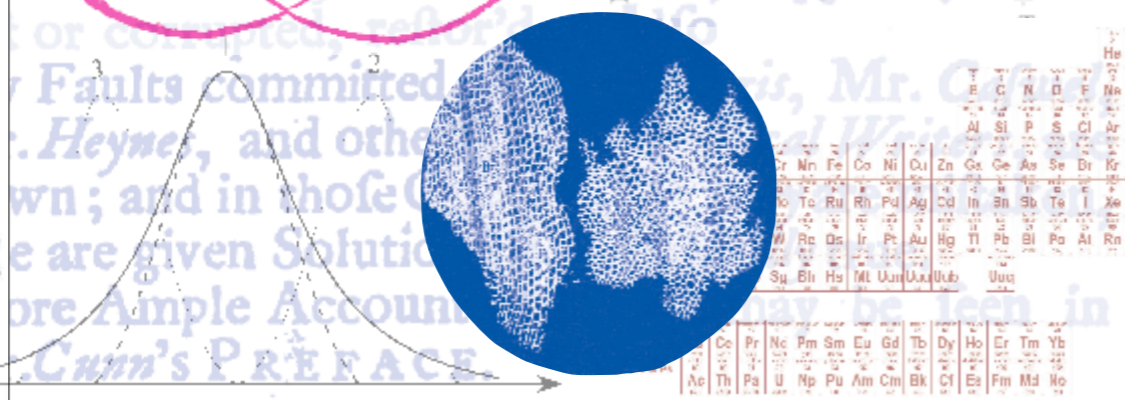
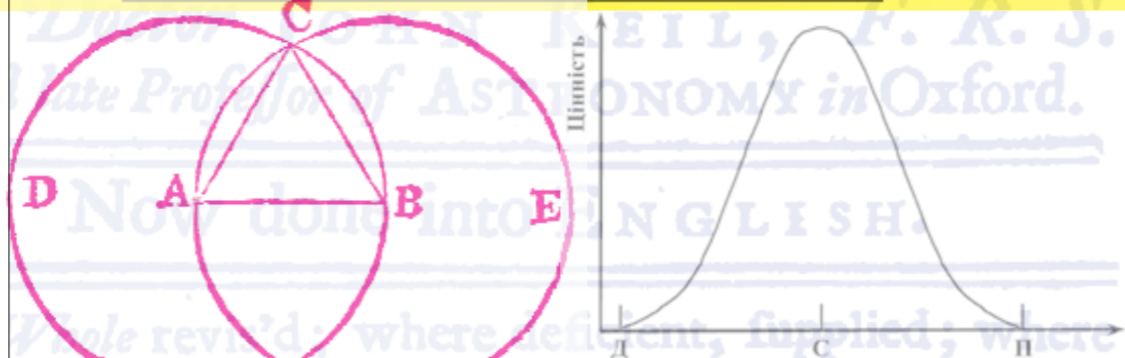
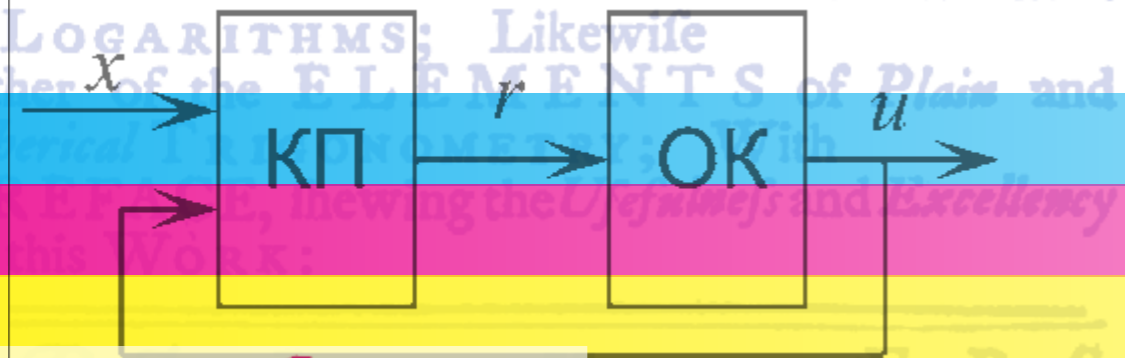
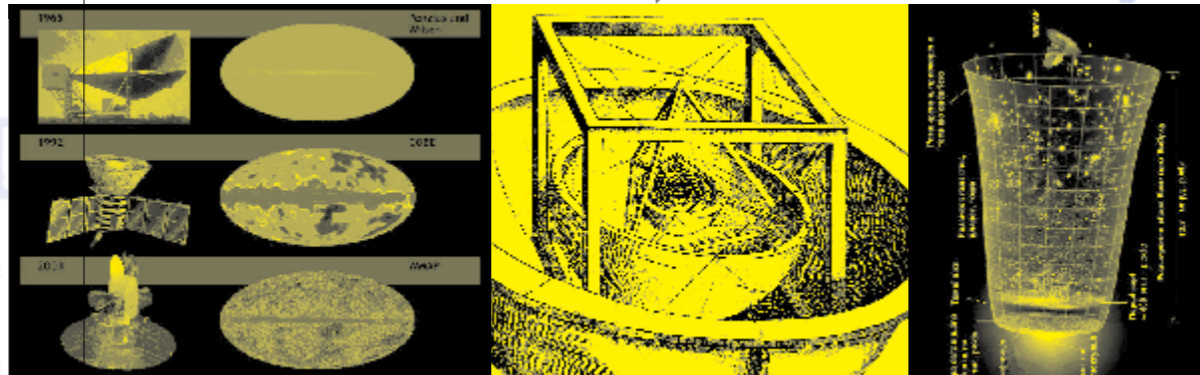
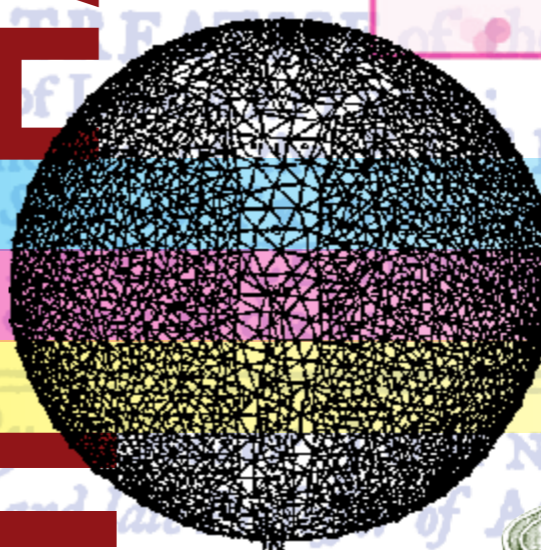
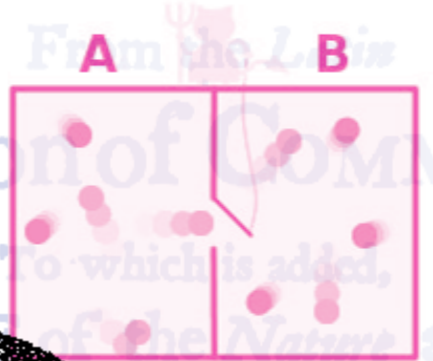
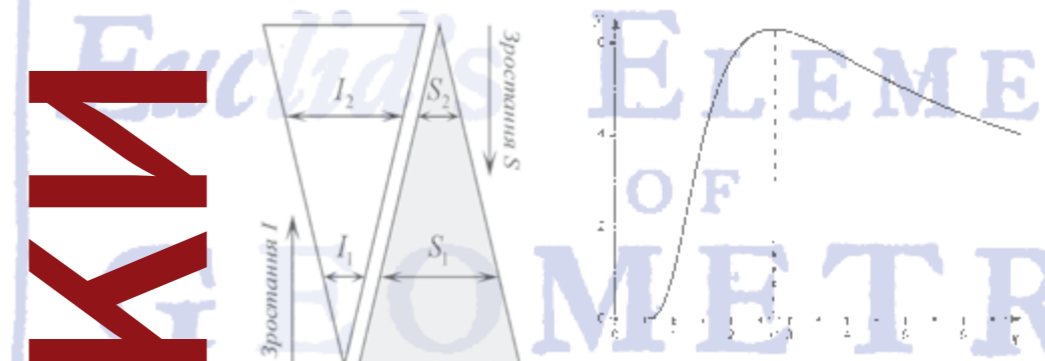


'Horizons of Science' is a title of an interdisciplinary seminar organized by scholars in natural and social sciences and in the humanities from several universities and academic research institutes in Lviv (Ukraine). It aims to serve as a meeting place where state-of-the-art problems of modern science are discussed. Besides an obvious popularization of scientific ideas, the seminar promotes the quest for common interdisciplinary approaches to various problems. This book has appeared as a natural continuation of the seminar. Its authors, lecturers of the seminar, leading scholars from Ukraine and abroad, now offer their ideas to a wider audience. Different chapters of the book present state-of-the-art research in different fields and relate the history of science in a style comprehensible to the general public.

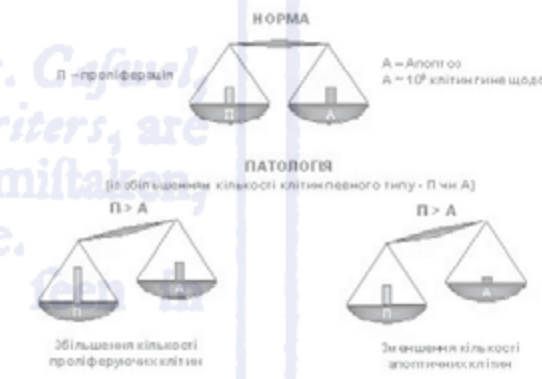


All massive matter & black holes decays/evaporates away to Conformally equivalent
 Standard $\Lambda > 0$ (k70)
 New Big Bang
 Conformal geometry fits if:
 • only massless entities in latest stages
 • Weyl curvature = 0 in Big Bang

Euclid's ELEMENTS OF GEOMETRY



'Обрії науки' – семінар із такою назвою проводять у Львові науковці Українського католицького університету, Львівського національного університету ім. Івана Франка та Національної академії наук України. Мета семінару – дати можливість зустрічатися та виробляти спільну мову спілкування науковцям-природничникам та гуманітаріям. Ця книжка виникла як продовження спілкування, розпочатого семінаром. Її автори – лектори семінару, провідні вчені України і світу – пропонують тепер свої думки ширшому загалу. Різні розділи книжки ознайомлюють з актуальними проблемами досліджень, що становлять суть праці вчених і суть сучасної науки, розповідають про історію науки і її героїв мовою, доступною не лише вузьким фахівцям, а й ширшому освіченому загалу.



НАУКИ

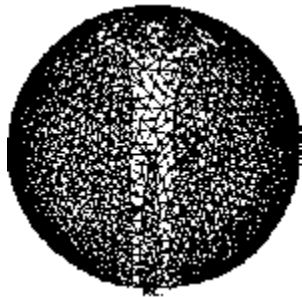
ОБРІІ

ОБРІІ

ОБРІЇ НАУКИ

ОБРІЇ НАУКИ

(ЗБІРКА НАРИСІВ ПРО НАУКУ І ПРО ВЧЕНИХ)



*За редакцією
Юрія Головача та Ярослава Грицака*

‘Обрії науки’ – семінар із такою назвою проводять у Львові науковці Українського католицького університету, Львівського національного університету ім. Івана Франка та Національної академії наук України. Мета семінару – дати можливість зустрічатися та виробляти спільну мову спілкування науковцям-природничникам та гуманітаріям. Ця книжка виникла як продовження спілкування, розпочатого семінаром. Її автори – лектори семінару, провідні вчені України і світу – пропонують тепер свої думки ширшому загалу. Різні розділи книжки ознайомлюють з актуальними проблемами досліджень, що становлять суть праці вчених і суть сучасної науки, розповідають про історію науки і її героїв мовою, доступною не лише вузьким фахівцям, а й ширшому освіченому загалу.

‘Horizons of Science’ is a title of an interdisciplinary seminar organized by scholars in natural and social sciences and in the humanities from several universities and academic research institutes in Lviv (Ukraine). It aims to serve as a meeting place where state-of-the-art problems of modern science are discussed. Besides an obvious popularization of scientific ideas, the seminar promotes the quest for common interdisciplinary approaches to various problems. This book has appeared as a natural continuation of the seminar. Its authors, lecturers of the seminar, leading scholars from Ukraine and abroad, now offer their ideas to a wider audience. Different chapters of the book present state-of-the-art research in different fields and relate the history of science in a style comprehensible to the general public.

В оформленні книжки використано
дереворит Я. Гніздовського "Конструктор".

Редактор
Анна-Марія Волосяцька

Макет та верстка
Андрія Кіся

Переклади
Павла Грицака

Передмова.....6

**Богдан Новосядлий. Будова та еволюція Всесвіту:
ключові ідеї та спостережувані дані.....7**

**Володимир Ткачук. Від основ квантової
механіки до квантової інформації33**

**Іван Болеста. Інформація та ентропія
у фізиці та суспільному житті.....45**

Михайло Зарічний. Математика і соціум.....77

**Ростислав Стойка. Проблеми життя і смерті на
клітинному і молекулярному рівнях89**

**Гаральд Іро. Про еволюцію сучасних наук.
(Чотири книжки, що лягли в основу
природничих наук)111**

Райнгард Фольк. Бібліотеки, книжки та ідеї.....139

Роман Пляцко. Феномен Івана Пулюя.....167

Про авторів.....189

ПЕРЕДМОВА

‘Обрії науки – Horizons of science’ – семінар з такою назвою проводять у Львові науковці Українського католицького університету, Львівського національного університету імені Івана Франка та Національної академії наук України. Мета семінару – дати можливість науковцям-природникам і гуманітаріям зустрітися та випрацювати спільну мову спілкування. У наш час, коли представники навіть однієї (а не суміжних!) царин науки втрачають спільну мову спілкування, таке завдання видається занадто амбітним, а може, і недосяжним. Однак, на прикладі досвіду нашого семінару можемо стверджувати, що потребу такого спілкування відчувають вчені, які працюють у найрізноманітніших сферах природничих, гуманітарних та соціальних наук. І користь від такого спілкування – очевидна.

Ця книжка виникла як продовження спілкування, розпочатого семінаром. Її автори – лектори семінару, провідні вчені України і світу – пропонують тепер свої думки ширшому загалу. Різні розділи книжки ознайомлюють з актуальними проблемами досліджень, що становлять суть праці вчених і суть сучасної науки. Проте наша книжка покликана зробити більше, ніж лише ознайомити читачів із найновішими науковими досягненнями. Якою є сучасна наука? Як вона виникла і які принципові зміни сталися у ній протягом навіть декількох останніх десятиліть? До чого приводить математизація соціальних (а часом і гуманітарних) наук і чи завжди можлива перевірка дослідом в науках емпіричних? Де пролягає межа між проблемами етики і природознавства? Якщо читач і не знайде вичерпних відповідей на ці й подібні запитання в нашій книжці, але задумається і шукатиме відповіді на них в майбутньому – вважатимемо, що наш спільний проект вдався!

Юрій Головач

(Інститут фізики конденсованих систем НАН України),

Ярослав Грицак

(Український католицький університет)

Відень–Краків–Львів, 21.06.14

БУДОВА ТА ЕВОЛЮЦІЯ ВСЕСВІТУ: КЛЮЧОВІ ІДЕЇ ТА СПОСТЕРЕЖУВАНІ ДАНІ

Богдан Новосядлий

Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка

ВСТУП

Яким є наш Всесвіт? Як він виник і яке його майбутнє? Відповіді на ці та інші запитання шукає космологія – наука про Всесвіт як ціле, його виникнення, еволюцію та структуру. Вона використовує весь арсенал сучасних фізичних та астрономічних знань. Становлення космології як науки – це ланцюг сміливих гіпотез, тривалих пошуків шляхів їхньої перевірки і триумфів підтверджених передбачень. Її успіхи впродовж другої половини ХХ – початку ХХІ ст. вражають і переконують у пізнаваності світу, в якому ми живемо.

Завдяки сучасним технологіям астрофізичних спостережень упродовж двох останніх десятиліть отримано якісно нові дані про світ, які зумовлюють жваві дискусії серед учених. Зокрема виявилось, що вся матерія, яку досліджують астрофізичними методами за аналізом електромагнітного випромінювання, випущеного чи поглинутого нею, становить не більше 1% усієї енергії-маси, яка заповнює Всесвіт. Тобто 99% енергії-маси не випромінює, є темною, або прихованою речовиною невідомої природи. З неї майже 30% кластеризується разом зі світною речовиною завдяки закону всесвітнього тяжіння. Проте її основна маса, близько 70%, розподілена однорідно, має протилежний знак гравітаційної дії – розштовхування, що приводить до спостережуваного прискореного розширення Всесвіту. Пояснення її природи шукають на стику фізики мікро- і мегасвіту. Ми є свідками зародження нової галузі знань, яку в нас назвали “космомікрофізика”, а на заході – “cosmoparticle physics”. Вона дуже активно розвивається і у теоретичних дослідженнях, і у постановці експериментів та їхньої реалізації.

До ключових ідей і гіпотез, які становлять теоретичну основу сучасної космології, належить ідея однорідності й ізотропності Всесвіту у великих масштабах, його нестационарності, космологічної сталої, темної матерії,

темної енергії, інфляції, космологічного нуклеосинтезу, реліктового випромінювання. Більшість із них висунуті як “здогадка”, без явних підстав чи аналогій із практичного досвіду людства.

Справді, астрономічні спостереження до зародження позагалактичної астрономії (20-ті роки ХХ ст.) свідчили про неоднорідний і анізотропний розподіл зір у космосі – Чумацький Шлях, наявність центра зоряної системи, зоряні скупчення тощо. Що спонукало Миколу Кузанського у першій половині ХV ст. стверджувати, що “Всесвіт, який перебуває у неперервному вічному русі, немає ні центра, ні сфери, яка його обмежує, ні верху, ні низу, він однорідний. У різних його частинах панують однакові закони”. Космологія, як царица фізики й астрономії, можливо, і відбулася завдяки вірі в це твердження, яке в ХХ ст. набуло особливого статусу – космологічний принцип. На його основі будували космологічні моделі Всесвіту, які ґрунтувались і на загальній теорії відносності А. Айнштейна, і на інших альтернативних теоріях гравітації 20–70-х років ХХ ст. Він був своєрідним дороговказом у розвитку теоретичних ідей та постановці спостережувальних програм – експериментальної бази сучасної космології. І тільки у другій половині ХХ ст. з уведенням в дію оптичних телескопів із діаметром дзеркала понад 5 м та розвитком радіоастрономії з’явилися незаперечні докази того, що наш Всесвіт справді такий.

СПОСТЕРЕЖУВАЛЬНІ ОСНОВИ СУЧАСНОЇ КОСМОЛОГІЇ

На підставі спостережень, експериментів та фізичних теорій, перевірених у лабораторіях, можна сформулювати фундаментальні властивості нашого Всесвіту, які є основою сучасної космології:

- *Нестационарність спостережуваного Всесвіту*, що виявляється у явищі розбігання галактик за законом Габбла $V=H_0 r$ (V – швидкість віддалення галактики, r – відстань до неї), яке реєструють за зміщенням ліній у їхніх спектрах. Приблизно $t_0 \sim 1/H_0$ років тому, коли вся спостережувана у Всесвіті речовина була зібрана в кульці діаметром ~ 1 см і перебувала у надщільному стані, стався Великий вибух, з якого розпочалось розширення.

- *Ізотропність* просторового розподілу позагалактичних об’єктів, властивостей світної речовини та значень фізичних констант.

- *Однорідність* (за масовою густиною, морфологічними типами галактик, співвідношенням хімічних елементів) просторового розподілу галактик у великих масштабах ($>100 h^{-1} \text{Мпк}$)¹. Зі збільшенням масштабу згладжування локальні відхилення параметрів від середніх зменшуються.

- *Структурованість* Всесвіту на масштабах $<100 h^{-1} \text{Мпк}$. Елементами структури є галактики, групи галактик, скупчення, надскупчення, великі порожнини і чарункова (коміркова) структура Всесвіту (див. Рис. 1).

- *Наявність темної матерії*, яка виявляє себе тільки гравітаційним впливом на розподіл та рух світної речовини в галактиках, скупченнях та надскупченнях галактик. Масова густина цієї складової матерії значно більша, ніж світної речовини (Рис. 2). Природа її невідома.

- *Існування фоновий мікрохвильовий електромагнітний випромінювання*, планківський розподіл якого свідчить про “гарячий” початок Великого вибуху та визначальну роль цього випромінювання у динаміці розширення Всесвіту на ранніх етапах його еволюції. Його називають реліктовим випромінюванням, оскільки приходить з епохи, коли вік Всесвіту становив всього $1/100000$ від сучасного.

- *Висока ізотропія реліктового випромінювання*: відхилення параметрів його енергетичного розподілу від середніх не перевищує тисячних часток відсотка у всіх кутових масштабах (Рис. 3).

- *Сталість відношення вмісту гелію та його ізотопів до вмісту водню* у зорях, галактиках і квазарах свідчить про їхнє космологічне (дозоряне) походження.

- *Евклідовість 3-простору* нашого Всесвіту. Кривина всього доступного для спостережень простору близька до нуля. Проте в надщільному стані початку Великого вибуху ймовірність реалізації саме такого одного значення кривини у величезній кількості причинно незв’язаних областей є надзвичайно малою і свідчить про існування фізичних процесів у ранньому Всесвіті, які “розгладжували первинні складки”, зумовлені квантовими властивостями матерії та простору-часу у планківських масштабах.

- *Баріонна асиметрія Всесвіту*, або відсутність у спостережуваній області Всесвіту галактик, що складаються з антиречовини. Симетрія стосовно баріонного

¹ Мпк (Мегапарсек) = 1 млн пк – одиниця вимірювання відстаней у позагалактичній астрономії. 1 пк = $3,086 \cdot 10^{18}$ см = 3,26 світлових років (св. р.) – одиниця вимірювання відстаней в астрономії. Тут і надалі $h=H_0/100$ км/с/Мпк – безрозмірна стала Габбла.

заряду, яка властива теорії елементарних частинок, порушена.

- *Відсутність магнітних монополів*² на Землі та ознак їхнього можливого існування у ближньому і далекому космосі. Їхнє існування передбачене більшістю теорій Великого об'єднання, які узгоджуються з даними експериментів на сучасних прискорювачах елементарних частинок. Передбачувана маса для них $\sim 10^{16}$ GeV ($\sim 10^{-8}$ г). Такі частинки мали б народжуватися у великій кількості в гарячому Всесвіті зразу після Великого вибуху.

- *Зростання темпу розбігання галактик*, яке простежується по наднових типу Ia, свідчить про існування “космологічної гравітаційно-відштовхувальної сили”. Вона переважає самогравітацію речовини, яка сповільнює розширення, і є ознакою існування силового поля, або темної енергії невідомої природи, що домінує за середньою густиною енергії у Всесвіті (Рис. 2).

Ці та інші фундаментальні властивості нашого Всесвіту лягли в основу сучасних космологічних моделей. Їх головні ознаки такі:

- сучасний стан розбігання галактик описують рівняннями Айнштайна для однорідного ізотропного Всесвіту, заповненого звичайною баріонною речовиною, випромінюванням, темною матерією, яка кластеризується, та темною енергією, яка не кластеризується;

- на ранньому етапі еволюції Всесвіт пройшов через фазу дуже швидкого (експоненціального) розширення, яку наближено описує модель де Сіттера і яку називають інфляційною стадією;

- спостережувана область Всесвіту розвинулася з однієї причинно-зв'язаної перед початком інфляції області простору-часу, яка розтягнулась у період інфляції та в наступну епоху космологічного розширення до розмірів сучасного горизонту частинки чи значно більших; магнітні монополі через їхню велику масу могли народжуватись тільки до початку інфляції і нею рознесені на такі великі відстані, що їх виявлення стало малоімовірним; баріони та лептони, з яких складаються атоми всіх хімічних елементів, мають значно меншу масу й синтезувались на кінцевій стадії інфляції, або зразу після неї;

- спостережувана великомасштабна структура Всесвіту є наслідком розвитку квантових флуктуацій метрики простору-часу, згенерованих до чи в період інфляції і розтягнутих до сучасних спостережуваних масштабів.

2. Елементарна частинка, яка має “магнітний заряд” і є джерелом радіального магнітного поля (одні полюс) подібно до частинок з електричним зарядом.

СТАНОВЛЕННЯ ФІЗИЧНОЇ КОСМОЛОГІЇ

Теоретичні основи сучасної фізичної космології закладені на початку XX сторіччя. Цей період означений кризою класичної фізики та створенням основ нової фізики – теорії відносності та квантової фізики. Тоді ж зароджувалась позагалактична астрономія. Уявлення про Всесвіт були досить спекулятивними. Його уявляли як єдиний острів зір – наша Галактика у нескінченному й незмінному часі просторі. Нескінченність Всесвіту і його незмінність у часі постулювали як філософські принципи.

А. Айнштайн 1917 р. першим застосував рівняння загальної теорії відносності, які він отримав 1916 р. [8],

$$R_{ik} - 1/2 g_{ik} R = \kappa T_{ik} \quad (1)$$

(у яких ліва частина визначена 4-тензором кривини Річчі³ R_{ik} простору-часу з метричним тензором g_{ik} , а права – тензором енергії-імпульсу матерії T_{ik} ; κ – гравітаційна стала Айнштайна) до аналізу динаміки Всесвіту як цілого. У праці [9] він проаналізував існування стаціонарних розв'язків для однорідного ізотропного Всесвіту. На його велике здивування і всупереч його філософським переконанням, рівняння не мало таких розв'язків, а отже, виявилось несумісним із уявленням про незмінність Всесвіту у часі, його статичність та “вічність”. Цього для А. Айнштайна було достатньо, щоб “руками підправити” рівняння – ввести в ліву частину рівняння доданок Λg_{ik} , який не порушував законів збереження і при певному співвідношенні між кривиною 3-простору і густиною матерії забезпечував стаціонарність Всесвіту – зрівноважував самопритягання матерії. Величину Λ згодом назвали космологічною сталою [6, 36]. Їй судилася “драматична доля” – до неї ще не раз поверталися, щоб розв'язати проблеми узгодження теорії і космологічних спостережень та відкидали, коли знаходили простіше пояснення. Проте вона пережила свого творця і XX ст. Російський математик Олександр Фрідман 1922 р. довів [10], що стаціонарні розв'язки не властиві ні рівнянням Айнштайна 1916 р., ні його “підправленому” рівнянню 1917 року. О. Фрідман уперше на підставі рівнянь Айнштайна записав повну систему рівнянь еволюції однорідного ізотропного Всесвіту, розв'язав їх і довів, що такий Всесвіт є нестаціонарним: він може або розширюватись, або стискатись. Відповідь на запитання “яким є наш Всесвіт” могли дати тільки спостереження.

3. Тензор – об'єкт у геометрії, який узагальнює поняття вектора. За формою представлення є матрицею ($n \times n$ у випадку тензора 2-го рангу, $n \times n \times n$ – 3-го і т. д., де n – розмірність простору), кожна компонента якої при перетвореннях координат перетворюється як компонента вектора. Тензор Річчі – характеристика кривини простору і виражається через метричний тензор g_{ik} , його перші та другі похідні по координатах. Метричний тензор залежить від способу задання координат та геометрії простору, дає можливість вираховувати інтервал ds між двома нескінченно близькими точками x^i і $x^i + dx^i$, а саме: $ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k$.

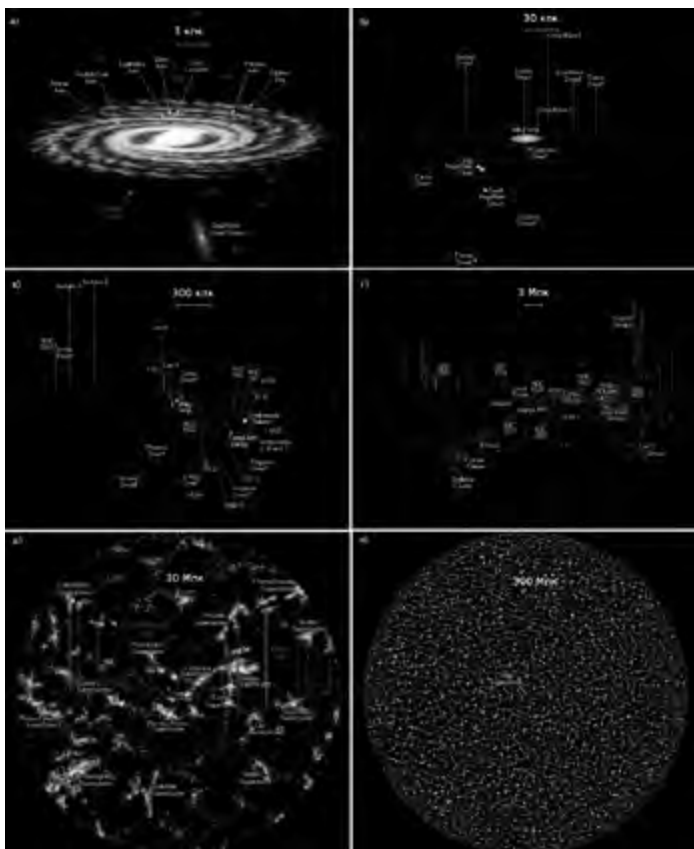


Рис. 1. Структура Всесвіту від околиць Галактики до краю спостережуваної області Всесвіту:
 а) наша Галактика Чумацький Шлях та її найближча сусідка карликова галактика в сузір'ї Стрільця (розмір області 30 кпк); б) Місцева група галактик, у центрі – наша Галактика (розмір області 300 кпк); в) галактики, що містяться в околі нашої Галактики в кубі зі стороною 3 Мпк; г) Місцеве надскопчення галактик, центральною частиною якого є скопчення галактик в сузір'ї Діви; у центрі картини наша Галактика, розмір зображеної області 60 Мпк; д) галактики, скопчення галактик, надскопчення галактик, ланцюжки галактик, стінки та порожнини формують великомасштабну структуру, яку називають комірковою або чарунковою; розмір зображеної області 600 Мпк; е) у масштабах >100 Мпк Всесвіт однорідний і ізотропний; розмір зображеної області 10 000 Мпк. Горизонтальною лінією на кожному рисунку показано масштаб.

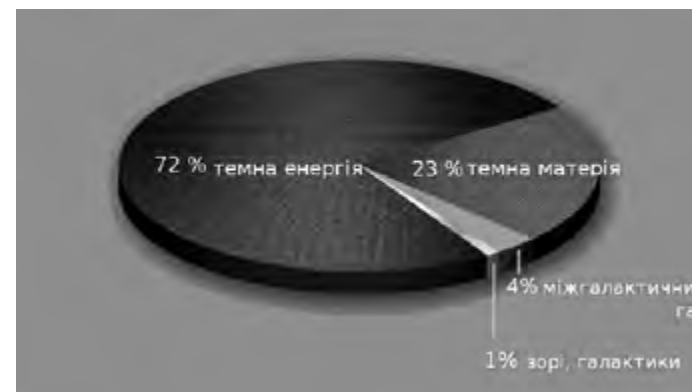
Теоретичний висновок про нестационарність Всесвіту, його еволюцію, мав на той час революційне світоглядне значення і породив жваві дискусії. Відкриття через сім років Едвіном Габблом [21] явища розбігання галактик відіграло вирішальну роль для загального прийняття еволюційної моделі. Важливим було не тільки відкриття розбігання, а й встановлення лінійної залежності швидкості віддалення галактики від відстані до неї з коефіцієнтом пропорційності, однаковим у всіх напрямках – закону Габбла: $V=H_0 r$. Така залежність свідчить про трансляційну симетрію простору, універсальність закону Габбла для спостерігача в будь-якій галактиці, однорідність та ізотропність Всесвіту у великих масштабах, яку остаточно підтверджено спостереженнями у другій половині ХХ ст. із введенням в дію потужних наземних та космічних телескопів. Однорідність та ізотропність у просторовому розподілі матерії має місце на великих масштабах (>100 h^{-1} Мпк), а на малих – панує очевидна неоднорідність у вигляді зір, галактик, скопчень галактик, порожнин у їхньому розподілі (Рис. 1).

4. Графічне представлення подій випромінювання світла джерелом та реєстрації його спостерігачем у просторі-часі. Наочно можна зобразити його у площині $t-x$ із твірними $c(t-t_0)=\pm(x-x_0)$, де (t_0, x_0) координати спостерігача, (t, x) – джерела. У Всесвіті, який розширюється, просторова координата x (під якою варто розуміти 3 координати x, y, z) в такому представленні є супутньою до всіх частинок.

Рис. 2. Основні складові нашого Всесвіту та їх масова густина у відсотках від середньої густини Всесвіту в сучасну епоху ($\rho=9,2 \cdot 10^{-30}$ г/см³). Середня густина усієї баріонної компоненти становить $\approx 5\%$, а тієї, що спостерігається усіма астрономічними засобами – всього 1% від загальної. Решта 95% – «темні» компоненти: темна енергія ($\approx 72\%$) та темна матерія ($\approx 23\%$).

Моделі Фрідмана дотепер є основою теорії будови й еволюції Всесвіту. Їх важливою властивістю є просторова і часова скінченність спостережуваної області Всесвіту. Іншими словами, світловий конус минулого⁴ має скінчений об'єм, у ньому міститься скінченна кількість зір і галактик, доступних для спостережень. Це стало розв'язком парадоксу Ольберса-Шезо, який кілька століть був предметом гарячих дискусій. Вперше його сформулював англійський математик Томас Дігес ще у ХVІ ст.: у нескінченному вічному Всесвіті, заповненому зорями, кожна як завгодно мала ділянка неба мала б світитися як поверхня Сонця, оскільки промінь зору в будь-якому напрямку на небі завжди потрапить у зорю.

У 1948 р. Георгій Гамов [12] висунув ідею “гарячого Всесвіту”, щоб пояснити синтез важких елементів за надзвичайно короткий час існування Всесвіту – приблизно 2 млрд років, який впливав із завищених тогочасних оцінок сталої Габбла ($H_0 \sim 500$ км/с/Мпк). Хоч взяті за основу розрахунків перерізи термоядерних реакцій були неточними, наявних відомостей стало достатньо, щоб сформулювати надзвичайно продуктивну гіпотезу. У рамках такої гіпотези матерія на ранніх стадіях мала перебувати у стані плазми з високими температурами і ступенем іонізації. Із цього випливала необхідність існування великої концентрації реліктових фотонів, сучасну температуру яких 1956 року оцінювали на рівні 5–6 К. Цей мікрохвильовий космічний фон випадково зареєстрували 1965 р. А. Пензіас і Р. Вільсон [30] та інтерпретували як реліктове випромінювання (Нобелівська премія з фізики за 1978 р.). Його розподіл по частотах описує формула Планка з температурою 2,725 К, а його інтенсивність така, що кількість квантів в одиниці об'єму перевищує середню кількість протонів у $\sim 10^9$ разів!



Із розвитком позагалактичної астрономії у 30-х роках ХХ ст. було помічено, що швидкості галактик у скупченнях свідчать про загальну масу скупчень значно більшу, ніж маса всієї світної речовини в них [40]. Невидиму речовину назвали “темною”. У 1970-х роках аналогічну нестачу світної маси зафіксовано у спіральних галактиках. До 1980-х років під темною матерією мали на увазі звичайну речовину в неспостережуваній засобами астрофізики формі, наприклад, гарячий розріджений газ, холодні газо-пилові згустки малих розмірів, холодні зорі малих мас, планети тощо.

На початку 1980-х років фізики-експериментатори запідозрили, що нейтрино мають масу спокою ~ 30 еВ. Оскільки реліктових нейтрино за концентрацією в $\sim 10^9$ разів більше, ніж протонів, то цього достатньо, щоб вони були тією темною матерією, якої бракує. На епоху рівності густини матерії і випромінювання такі нейтрино були релятивістськими, тобто їх “теплові” швидкості були близькими до швидкості світла, тому такий вид темної матерії назвали гарячим. Проте в межах моделі з гарячою темною матерією через великі довжини вільного пробігу таких частинок не вдавалось задовільно кількісно описати процес формування галактик та спостережуваної великомасштабної структури Всесвіту. Хоч наступні експерименти не підтвердили такого значення маси спокою нейтрино, експерименти наприкінці 1990-х на нейтринному детекторі Супер-Каміоканде [11] закріпили ті підозри й дали нижню межу на її значення $\sim 0,04$ еВ. Верхня межа на масу спокою нейтрино < 1 еВ на достатньо високому рівні достовірності ($> 95,4\%$) визначена на підставі даних спостережувальної космології – просторового розподілу галактик, скупчень галактик, їхньої функції мас та інше. Це означає, що нейтрино може становити не більше 10% густини темної матерії. А решта $\sim 90\%$? Із середини 1980-х прогрес у фізиці елементарних частинок приможив “зоопарк” можливих кандидатів на темну матерію. Сьогодні найперспективнішими є холодна або тепла (можлива і їхня суміш) темна матерія, яку вперше 1982 р. запропонував П. Піблс [27, 28]. Частинки цієї форми матерії дерелятивізувались (кінетична енергія частинки стала меншою від її енергії спокою m_0c^2) під впливом розширення ще на ранніх стадіях еволюції Всесвіту. Вони беруть участь у гравітаційній взаємодії і, можливо, слабкій. Ця модель темної матерії добре пояснює динаміку гало галактик, утворення галактик,

скупчень галактик, їхні властивості та спостережувану великомасштабну структуру Всесвіту. Однак, попри наявність багатьох гіпотетичних частинок як кандидатів на елементне наповнення цього виду темної матерії, реально таких частинок досі не детектовано (див. огляд [1]). Незважаючи на їхні досить загальні природні властивості (участь у гравітаційній і, можливо, слабкій взаємодіях, здатність кластеризуватися, утворюючи протяжні гало об'єктів через безіткнювальний характер взаємодії на стадії колапсу) з'ясовано, що вони становлять не менше приблизно 23% усієї густини енергії ϵ (те саме, що й густини маси, оскільки $\epsilon = \rho c^2$).

У 1990-х роках астрофізики, озброївшись Космічним телескопом імені Габбла, реалізували тест видимої зоряної величини – червоне зміщення. Його вдалося здійснити за допомогою наднових типу Ia, які можна виявляти в дуже далеких галактиках, та які, і це найважливіше, мають всюди однакові відомий блиск у момент спалаху і зміну блиску з часом. Результат виявився несподіваним: наш Всесвіт розширюється із прискоренням, тобто швидкість розбігання галактик не гальмується самогравітацією, як очікували, а навпаки – прискорюється. Яка сила “розпирає простір” і спонукає галактики до збільшення темпу розбігання? Космологи мали варіант відповіді вже давно – космологічна стала, яку ще 1917 р. запропонував А. Айнштейн. Про її роль в розширенні Всесвіту, “розпиранні простору”, вперше зазначено 1917 р. у праці де Сіттера [7]. Проте фізики-теоретики вперто, і небездоказово, аргументували безпідставність її введення у фізику. Після перших майже одночасних публікацій результатів тесту видимої зоряної величини – червоного зміщення для наднових типу Ia 1998 року, отриманих колабораціями науковців SuperNovae Cosmology Project [31] та High-z SuperNovae Search [34], ставлення до неї змінилось. Згодом факт прискореного розширення Всесвіту було підтверджено іншими даними спостережень, а наукові керівники цих проектів Сол Перлмуттер (SNCP), Браян Шмідт і Адам Ріс (HzSNS) були удостоєні Нобелівської премії з фізики⁵ за 2011 рік. Тепер космологічну сталу розглядають як вид темної енергії, яка розподілена однорідно, не кластеризується та має сталу в часі та однакову у просторі густину енергії та рівняння стану $P = -\epsilon$ [6, 36]. Її можна інтерпретувати як нульові квантові коливання густини енергії вакууму (див. [36, 6, 1] та цитування у них).

5. “За відкриття прискореного розширення Всесвіту через спостереження далеких наднових типу Ia”.

Космологічна стала – перша спроба ввести у фізику нову сутність, яка заповнює Всесвіт і “розпирає” простір. Останнім часом космологи активно вивчають інші кандидати в темну енергію: скалярні поля, модифікації загальної теорії відносності та ньютонівського закону всесвітнього тяжіння.

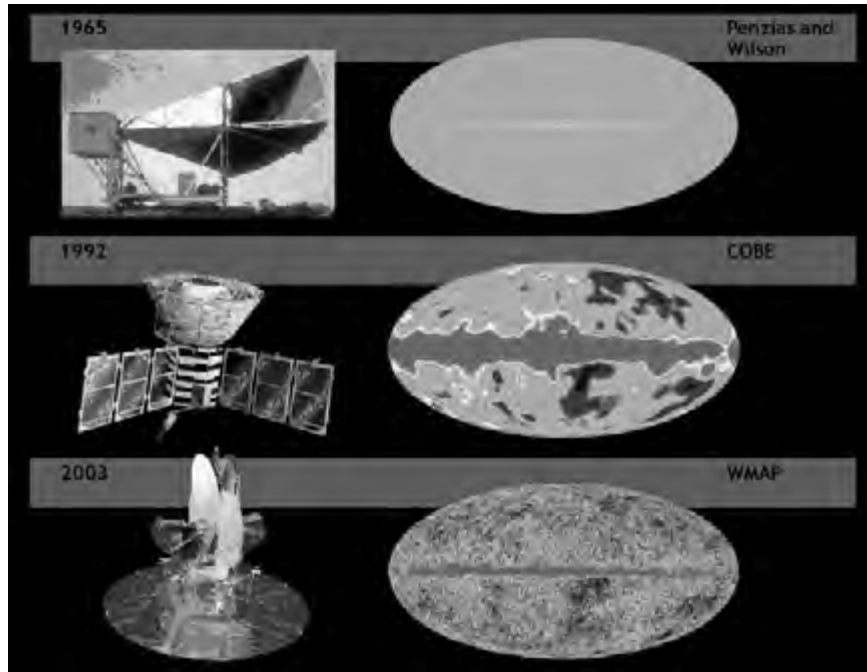
На підставі даних про блиск наднових Ia у кількох сотнях далеких галактик, даних про флуктуації температури реліктового випромінювання, отриманих у космічному експерименті WMAP, первинного вмісту гелію і дейтерію у міжгалактичному середовищі та низки даних інших програм спостережувальної космології зроблено висновок про те, що густини баріонів, холодної темної матерії та темної енергії співвідносяться приблизно як 1:5:15. Отже, наш Всесвіт – це світ, в якому домінують за густиною темна матерія і темна енергія ще не з’ясованої природи (див. Рис. 2).

Рис. 3. Ключові експерименти з реєстрації реліктового випромінювання (А. Пензіас і Р. Вільсон, 1965 р.; Нобелівська премія з фізики за 1978 р.), флуктуацій його температури у великих куткових масштабах (космічний експеримент COBE, 1992 р.; Нобелівська премія з фізики за 2006 р.), зумовлених ефектом Сакса-Вольфа [35], та

флуктуацій його температури в малих куткових масштабах (космічний експеримент WMAP, 2003–2009 рр.), зумовлених акустичними коливаннями плазми. Ліворуч – телескопи, праворуч – карта всього неба в гомолографічній проекції Молвейде (Бабіне).

стандартної моделі Великого вибуху. З іншого боку, активні дослідження фізичних процесів у гарячому Всесвіті поряд зі швидким розвитком ядерної фізики та теорії елементарних частинок у 1960–1980-х роках привели до порушення питання про природу первинного стану і початку розширення. Це вилилось в елегантну теорію інфляційного Всесвіту, започатковану наприкінці 1970 – на початку 1980-х років у працях О. Старобінського [38, 39], А. Гуса [13, 14], А. Лінде [2, 22] та ін. Згідно з цією теорією енергія Всесвіту до початку розширення була сконцентрована у скалярному полі з густиною енергії, близькою до планківської, яке перебувало в метастабільному стані. Спонтанний перехід до стану істинного вакууму з мінімумом енергії (який прагне зайняти кожна фізична система) приводить до експоненціального розширення. Теорія інфляції досягла успіху, пояснивши практично всі згадані вище фундаментальні спостережувальні властивості нашого Всесвіту.

Окрім питань про еволюцію Всесвіту як цілого та початкові умови у ньому, ставилося питання про конкретні механізми формування спостережуваної структури Всесвіту. Вперше для Всесвіту, який розширюється, цю задачу 1946 р. сформулював і розв’язав у рамках загальної теорії відносності Є. Ліфшиць [3]. З неї випливало, що спостережувана структура Всесвіту (галактики, їхні скупчення і надскупчення, порожнини) утворилась у результаті еволюції збурень густини, амплітуда яких зростала внаслідок гравітаційної нестійкості. Самі збурення були згенеровані в ранню епоху еволюції Всесвіту, а отже, є відображенням тих фізичних процесів, які відбувались тоді. Експериментальне підтвердження такого сценарію вперше отримано 1992 р. у космічному експерименті COBE (COsmic Background Explorer), метою якого були пошуки слідів таких флуктуацій у просторовому розподілі квантів реліктового випромінювання [37]. Їхнє існування та зв’язок зі збуреннями густини передбачене у праці Сакса і Вольфа 1967 р. [35]. Виявлені флуктуації температури реліктового випромінювання на рівні ~0,001% у ділянках неба розміром ~10° чудово узгоджувалися із законом наростання амплітуди збурень густини матерії $(\delta(r)=(\rho(r)-\rho)/\rho)$ під дією самогравітації, що його 1946 р. отримав Ліфшиць. Важливим виявилось і таке: середньоквадратичні флуктуації температури випромінювання майже не залежали від масштабу в діапазоні куткових розмірів ділянок на небі



Одним із важливих висновків, що впливає з факту розширення, є існування сингулярного стану на початку розширення, який відразу став предметом активних теоретичних досліджень. Сингулярний стан – це фізична особливість⁶, коли густина матерії та інваріанти тензора кривини 4-простору стають безмежними. Жодна з фізичних теорій не здатна послідовно описати цього стану, що вважалось однією із нерозв’язаних проблем

6. Неусувний характер таких особливих точок у загальному розв’язку рівнянь Айнштайна 1970 р. довели С. Гоукінг і Р. Пенроуз [16].

від 10 до 180°. Таку властивість передбачали інфляційні моделі Всесвіту: швидке експоненціальне збільшення масштабів ($a \sim \exp(t/t_1)$, де t_1 – початок інфляції) та існування горизонту подій⁷ на цій стадії приводять до того, що амплітуда збурень різного масштабу “застигає”, коли їх розмір стає більшим за радіус цього горизонту. Що менший масштаб збурень густини, то довше наростала його амплітуда. Тому масштаб збурення визначив амплітуду спектра потужності збурень густини: $P(k) \sim k$. Якщо розраховуватимемо середньоквадратичні флуктуації температури реліктового випромінювання ($\langle \Delta T/T \rangle$, $T=2,725$ K) згідно з ефектом Сакса-Вольфа для кутових масштабів $>10^\circ$, то отримуємо приблизно однакове значення. Експеримент COBE це блискуче підтвердив – воно виявилось $\sim 10^{-5}$ (2006 року Дж. Смуту, керівникові цієї частини проекту COBE, була присуджена Нобелівська премія з фізики). Це значення ще досі є своєрідним репером у дослідженнях великомасштабної структури Всесвіту. Понад два десятки експериментів – наземних і стратосферних – підтвердили цей результат.

І це ще не останнє теоретичне передбачення в космології, яке має експериментальне підтвердження. Якщо структура – це результат розвитку адіабатичних флуктуацій густини, то на кутових масштабах, які відповідають масштабу горизонту на момент відриву реліктового випромінювання від речовини, повинні спостерігатись “гарячі” і “холодні” плями – так звані акустичні піки. Майже одночасно вони надійно виявлені у стратосферних експериментах BOOMERanG і MAXIMA [15, 23] на ділянках неба, розміром 240 кв. гр. і 44 кв. гр. відповідно. Остаточо це явище підтверджене в космічному експерименті WMAP [17, 18], у якому отримано карту флуктуацій температури реліктового випромінювання всього неба з роздільною здатністю ~ 20 дугових мінут (Рис. 3).

ЕТАПИ ЕВОЛЮЦІЇ ВСЕСВІТУ

Сучасні фізичні моделі походження та еволюції спостережуваного Всесвіту і його структури можна укласти в часову шкалу від $-\infty$ до ∞ так:

- *Вічне минуле* ($-\infty$ до 0) – те, з чого сформувалось Усе в нашому Всесвіті, перебувало в метастабільному стані скалярного поля (або кількох різних полів) із планківською густиною енергії. Простір і час – кван-

7. Горизонт подій окреслює зовнішню область довкола спостерігача, звідки за всю майбутню історію Всесвіту сигнали про будь-які події до спостерігача не доходять.

тові. Цю епоху називають просторово-часова піна. Випадкові квантові флуктуації приводили до безперервної зміни значень фундаментальних сталих фізичних взаємодій, просторово-часових вимірів. Матерії у формі звичних частинок ще не існувало.

- *Великий вибух* ($0-10^{-45}$ с) – в одній квантовій ділянці просторово-часової піни внаслідок квантових флуктуацій сформувався 3+1 простір-час із параметрами фундаментальних взаємодій, які після розпаду первинного стану і низки фазових переходів привели до чотирьох фізичних взаємодій нашого Всесвіту та набору елементарних частинок, які його заповнили. Така локальна ділянка почала спонтанно розширюватись, охолоджуватись, а поле – скочуватись у стан із мінімальним значенням енергії (вакуумний стан). Початок інфляції.

- *Інфляція* ($10^{-45}-10^{-10}$ с) – короткочасна стадія дуже швидкого (експоненціального) збільшення масштабів – ($a(t) \sim \exp(Ht)$, де $H \approx 1/t_1$ – стала Габбла в інфляційну епоху, t_1 – час її початку). За коротку мить, наприклад, з 10^{-35} до 10^{-25} с масштаби зросли в $\approx \exp(10\,000\,000\,000)$ разів. Це означає, що флуктуації метрики простору-часу квантових масштабів розтягувались до таких, що наступне розширення впродовж кількох мільярдів років збільшило їх до розмірів сучасних галактик, скупчень, надскупчень, порожнин у їхньому розподілі тощо. Інфляція закінчується синтезом частинок і квантів полів, які відповідають температурі на момент кінця інфляції (t_2) $T \approx 6,4 \cdot 10^{14} (10^{-10} c/t_2)^{1/2}$ K. У цю епоху могли згенеруватись реліктові гравітаційні хвилі, які далі вільно поширюються у просторі (перший реліктовий фон, який можна зареєструвати). Після розпаду масивних частинок й античастинок речовина переходить у стан кварк-глюонної плазми.

- *Баріосинтез* ($\sim 10^{-10}-10^{-8}$ с) – кварк-глюонна плазма вистигає, залишаючи в осаді важкі частинки – адрони та їхні античастинки.

- *Адронна ера* ($\sim 10^{-8}-10^{-6}$ с) – короткоживучі адрони розпадалися на легші аж до протонів, нейтронів та їхніх античастинок. Частинки й античастинки перебували в термодинамічній рівновазі із квантами електромагнітного випромінювання GeV-них енергій. Епоха закінчилася анігіляцією речовини й антиречовини. Залишився надлишок протонів, нейтронів і електронів над їхніми античастинками і велика кількість квантів високих енергій, які розпадались на пару віртуальних лептонів.

- *Лептонна ера* ($\sim 10^{-6}$ - 1 с) – лептони (електрони, мюони, тау-лептони й відповідні їм нейтрино) перебували в термодинамічній рівновазі з випромінюванням (народження-анігіляція електрон-позитронних пар). Закінчилася анігіляцією пар частинка-античастинка, залишився надлишок електронів над позитронами, кванти електромагнітного випромінювання та нейтрино, які через слабку взаємодію з рештою частинок почали вільно поширюватися у просторі (другий реліктовий фон, який може бути зареєстрований).

- *Епоха нуклеосинтезу* (1 с - 100 с) – протони і нейтрони, стикаючись, “злипаються”, утворюючи ядра легких елементів: дейтерій, тритій, гелій-3, гелій-4, літій, берилій та ін. Головний із них – гелій, якого на кінець епохи утворилось $\sim 10\%$ від кількості протонів. Отже, спостережуване всюди в космосі співвідношення $He/H \approx 0,1$ є третім реліктом раних епох, який надійно реєструють. На кінець епохи сформувався первинний хімічний вміст елементів: ядра легких елементів, вільні електрони, нейтрино та фотони.

- *Епоха домінування випромінювання* (100 с - 12 000 р.) – енергія квантів реліктового випромінювання значно більша від потенціалу іонізації атомів водню і гелію. Баріонна речовина повністю іонізована, середовище непрозоре через комптонівське й томпсонівське розсіювання квантів на електронах. Кількість квантів в одиниці об’єму в $\sim 10^9$ разів більша від кількості протонів, тому густина енергії випромінювання значно більша від густини речовини й визначає динаміку розширення Всесвіту. Та оскільки його температура знижується обернено пропорційно до масштабного множника $a(t) \sim t^{1/2}$, то густина енергії зменшується з часом $\sim a^{-4}$. Густина ж енергії матерії (баріонна + темна) зменшується $\sim a^{-3}$. А тому настає момент, коли густина енергії випромінювання стає меншою від густини енергії речовини, яка починає домінувати й визначати темп розширення. Це настає в момент часу 12 000 років після Великого вибуху, який відповідає червоному зміщенню $z_{eq} \approx 6\ 000$.

- *Перехідна епоха* (12 000–370 000 рр.) – баріонна речовина ще повністю іонізована і через томпсонівське та комптонівське розсіювання на вільних електронах тісно пов’язана з випромінюванням. Тиск такої баріонно-фотонної плазми дуже високий. Густина речовини починає домінувати й визначати темп розширення. Закінчується, коли енергії квантів уже недостатньо, щоб іонізувати водень.

- *Космологічна рекомбінація* (370 000–40 0000 рр.) – короткочасна епоха ($z_{rec} \approx 1000$), упродовж якої ступінь іонізації водню ($x_p = n_p / (n_p + n_H)$) зменшувався від 1 до ≈ 0 . Середовище стає прозорим для випромінювання і воно починає вільно поширюватися у всіх напрямках. До нас воно надходить із поверхні сфери останнього розсіяння, товщина якої скінченна (оптична глибина за томпсонівським розсіювання ≈ 1), а радіус зростає $\sim t$. Це четвертий релікт, який 1965 р. виявили А. Пензіас і Р. Вільсон.

- *Темні віки* (400 000 – 10^8 років) – середовище прозоре для випромінювання. Тиск у речовині нехтовно малий, що дало змогу амплітуді збурень густини речовини збільшуватися під дією самогравітації. Густина енергії матерії значно більша від густини енергії випромінювання. Матерія із практично нульовим тиском нейтрального газу з первинним хімічним вмістом визначала темп розширення Всесвіту. Масштабний множник $a(t) \sim t^{2/3}$. Ще не має ні зір, ні галактик – джерел світла, лише фотони реліктового випромінювання ізотропно приходять у кожен точку зі сфери останнього розсіювання.

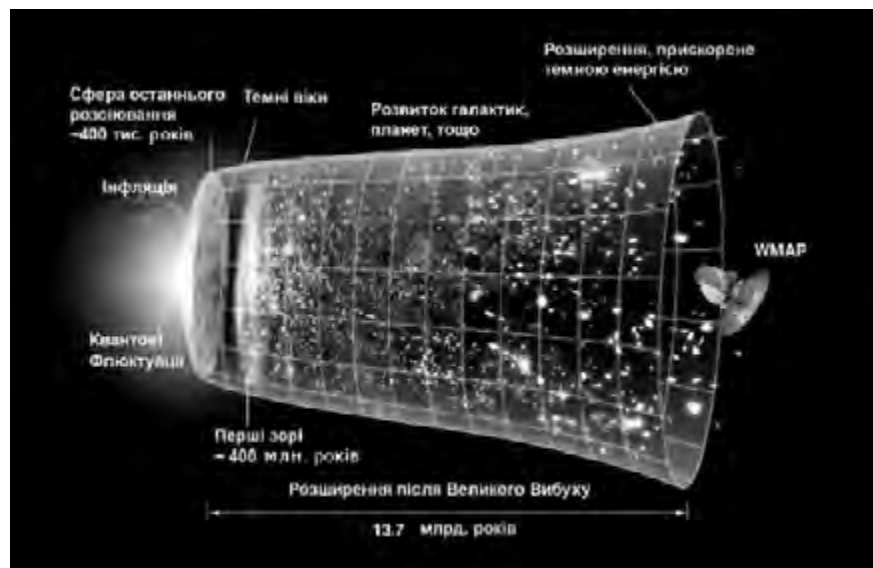
- *Епоха зір і галактик, розширення сповільнюється* (10^8 – $6 \cdot 10^9$ років) – народжувалися перші зорі, які у воднево-гелієвому середовищі мають бути дуже масивними $\sim 10^2$ - 10^3 мас Сонця. Їхній час життя малий і закінчували вони його спалахом наднової величезної потужності. Жорстким випромінюванням яскравих зір та ударними хвилями, згенерованих спалахами наднових, міжзоряний і міжгалактичний газ іонізувався враз. Міжзоряне середовище збагатилося важкими елементами, що сприяло утворенню зір менших мас. Почалася епоха бурхливого зореутворення і формування галактик. Розширення Всесвіту відбувалося зі сповільненням – самогравітація речовини переважала.

- *Епоха зір і галактик, розширення прискорюється* (6–13,7 млрд років, сьогодні) – дані тесту видима зоряна величина – червоне зміщення для наднових типу Ia, вимірювання спектра потужності флуктуацій температури реліктового випромінювання та просторової концентрації галактик свідчать про те, що 7 млрд років тому розширення Всесвіту зі сповільненням змінилось на розширення із прискоренням. Так почала виявляти себе темна енергія на кшталт космологічної сталої, яка може бути інтерпретована як додатна густина енергії вакууму. Вона, чи щось подібне на неї (квінтесенція),

відіграють роль сили, яка “розпирає простір” і спонукає галактики до збільшення темпу розбігання. Ця темна енергія почала переважати густину енергії звичайної матерії, яка самогравітує, приблизно 4 млрд років тому, коли наша Земля тільки формувалась.

• *Епоха темної енергії (13,7 млрд років, сьогодні – вічне майбутнє)* – в нашій та інших галактиках ще довго будуть формуватися нові зорі, обігрівати сусідні планети, вмирати, даючи життя іншим... Але все це відбуватиметься на тлі прискореного розширення Всесвіту, з часом швидкість віддалення від нас галактик наростатиме. Через приблизно сотню мільярдів років настане момент, коли остання галактика щезне за горизонтом подій. Разом із нею щезне й позагалактична астрономія. Ті, хто житиме в Галактиці тоді, заздритимуть нам – спостерігачам і сучасникам такого різноманіття світу галактик!

Рис. 4. Схематична еволюція Всесвіту від квантової флуктуації до сучасної епохи.



Від часу публікації першого випуску даних WMAP популярною є схематична історія Всесвіту у вигляді “рукава” (Рис. 4), який розширюється відповідно до історії динаміки розширення Всесвіту. Його поперечні перерізи (перпендикулярні до осі часу) – це 3-простір із відповідними на заданий час просторовим масштабом та структурованістю матерії. Шкала часу, яка йде зліва направо, не має сталого масштабу. Оскільки земний спостерігач (супутник WMAP справа) бачить Всесвіт в електромагнітних променях, які поширюються зі скінченною швидкістю, то він одночасно бачить різні області

в різні часи – що далі від нас область, то “молодшою” ми її бачимо. Тобто, на рисунку схематично показано, яким ми бачимо Всесвіт – околиці нашої Галактики у віці 13,7 млрд років, а на максимально великих відстанях (горизонт частинки) – його народження із квантової флуктуації⁸. Такий сценарій еволюції Всесвіту та формування його структури розвинутий до деталей для різних епох і кількісно узгоджується практично з усією сукупністю спостережуваних даних. Різні аспекти теорії викладені на сторінках багатьох наукових журналів та книг, серед яких популярні: [2, 5, 14, 16, 25, 26, 28, 32, 33].

АЛЬТЕРНАТИВНІ ТЕОРІЇ ТА НЕВИРІШЕНІ ПРОБЛЕМИ

Безумовно, становлення сучасної космології, як і сучасної фізики, відбувалось в умовах гострих дискусій на сторінках наукових журналів та суперечок на конференціях. У 20-х роках ХХ ст. більшість вчених відстоювала ідею статичного Всесвіту, незмінного й вічного у часі. Показовим у цьому плані є введення А. Айнштайном у рівняння загальної теорії відносності космологічної сталої, яка мала б забезпечити статичність однорідного ізотропного Всесвіту. Погодившись із аргументами О. Фрідмана і Ж. Леметра стосовно нестационарності загальних розв’язків космологічних рівнянь, ідею нестационарності Всесвіту він сприйняв лише після експериментального підтвердження Е. Габблом 1929 р. пропорційності зміщення ліній у спектрах галактик відстаням до них. Така закономірність впливала із моделей Фрідмана-Леметра, в яких однорідний ізотропний Всесвіт або стискався, або розширювався. Виявлене зміщення у червону сторону спектра свідчило про розширення Всесвіту. Підтвердженням остаточного визнання А. Айнштайном ідеї нестатичності Всесвіту є його спільна з В. де Сіттером стаття 1931 року, присвячена динаміці розширення Всесвіту з нульовою 3-кривиною та пилоподібною матерією. Згодом А. Айнштайн пошкодував, що ввів у рівняння загальної теорії відносності космологічну сталу. Однак вона продовжувала “жити” у головах теоретиків і, як сьогодні зрозуміло, виявилась геніальним передбаченням того, що тепер називають темною енергією.

Деякі вчені намагались врятувати ідею статичності іншими інтерпретаціями червоного зміщення квантів

8. В електромагнітних променях ми не бачимо епох, раніших за 380 тис. років, через непрозорість фотон-протон-електронної плазми, у такому стані перебувала баріонна речовина в ранньому гарячому Всесвіті.

світла від далеких галактик. Гіпотеза старіння (або втомлюваності) квантів, яку деякий час підтримували Ф. Цвіккі, М. Борн, Е. МакМіллан, П. А. Дірак й ін., не знайшла, однак, фізичного обґрунтування на рівні атомної та квантової фізики. Тому пояснення червоного зміщення світла галактик їх розбіганням, тобто розширенням однорідного ізотропного Всесвіту, стало загальноприйнятим. Іншої інтерпретації немає досі.

Приймаючи як експериментально доведений факт розбігання галактик, деякі вчені все ж не могли погодитися з існуванням ранньої надщільної фази та початку розширення, що означала скінченність віку Всесвіту. Компроміс був знайдений у теорії стаціонарного Всесвіту, яку 1948 р. запропонували Н. Бонді, Т. Голд і Ф. Хойл [4, 19]. Згідно з цією теорією Всесвіт розширюється так, як це описує закон Габбла, але його середня густина незмінна в часі. Це забезпечується введенням у праву частину рівняння (1) тензора енергії-імпульсу S -поля, яке породжує баріонну речовину з таким темпом, що компенсує її зменшення за рахунок розширення. У праву частину рівняння автори також включають доданок із космологічною сталою, яка й забезпечує “вічне” розширення як у моделі де Сіттера. У такому Всесвіті немає великого вибуху й немає початкової надщільної фази, яка неприйнятна для творців цієї теорії. Він вічний та однаковий всюди і завжди (ідеальний космологічний принцип). Найдальші галактики такі ж, як наша та сусідні. Природа S -поля як і порушення закону збереження баріонного заряду є поза межами теорії та ціною компромісу. Непереборною проблемою для цієї теорії стало реліктове випромінювання, експериментально виявлене 1965 року, та його планківський енергетичний розподіл, остаточно встановлений в експерименті COBE 1992-го⁹. Зменшення кількості яскравих квазарів на великих червоних зміщеннях теорія теж не спроможна пояснити. У зв’язку з цим Ф. Хойл, Г. Бербідж та Дж. Нарлікар 1993 р. [20] (див. також останні огляди [24, 5]), запропонували квазістаціонарну модель Всесвіту, в якій збільшення масштабів відбувається за складнішим законом – це добуток де-сіттерівського множника $\exp(Ht)$ й осциляційного $1+\eta\cos(2\pi t/Q)$, ($\eta < 1$), де Q – період осциляцій, величина якого визначається за червоним зміщенням найдальшого спостережуваного об’єкта z_{max} . Фактично це реанімація осциляційної моделі, яку аналізували ще у 1930-х роках, та відкинули як таку, яка не може забезпечити незмінності та “вічності” Всесвіту через другий

⁹ Керівник цього проекту Дж. Мазер 2006 року отримав Нобелівську премію з фізики.

закон термодинаміки: ентропія росте в таких моделях від циклу до циклу, що, з одного боку, свідчить про скінчену кількість циклів у минулому, а з іншого – про теплову смерть Всесвіту в майбутньому. У квазістаціонарній моделі зростання ентропії компенсується народженням баріонів S -полем. Осциляції дають можливість усунути парадокс Ольберса та пояснити наявність фонового мікрохвильового випромінювання, яке в цій моделі є не реліктовим, а випромінюванням зір із попередніх циклів осциляцій, термалізованим у періоди максимального стиску. Однак, щоб випромінювання зір термалізувати до 2,73 К у всьому енергетичному діапазоні, в якому реєструють мікрохвильовий фон (~0,1 мм – 10 см), авторам необхідно було запропонувати фізичний механізм цього явища. Вони вважають, що термалізація відбувається через поглинання випромінювання оптичного діапазону міжгалактичним пилом, та перевипромінювання його ним у мікрохвильовому діапазоні. Флуктуації температури мікрохвильового теплового випромінювання, виявлені в експериментах COBE, BOOMERanG, MAXIMA, WMAP та ін., автори пояснюють впливом галактик та скупчень галактик в останньому стиску. Причому, доборою параметрів моделей всіх явищ автори отримують величини, близькі до спостережуваних. Таке пояснення походження мікрохвильового фонового випромінювання вимагає доведення існування однорідно розподіленого в міжгалактичному середовищі пилу. Однак вся сукупність спостережуваних даних про лінії поглинання у спектрах далеких квазарів вказує на те, що в міжгалактичному середовищі є гарячий розріджений іонізований газ у стані з мінімальною випромінювальною здатністю (мінімум функції охолодження при температурі $T \sim 10^6$ К і концентрації частинок $n \sim 10^{-7}$ см⁻³) і ніяких ознак пилових частинок, для формування яких необхідні хімічні елементи з атомним числом більшим, ніж у гелію. У цій теорії дейтерій, тритій, гелій-3 і гелій-4 синтезуються в зорях, як і всі інші елементи. Пояснення однаковості відношення концентрацій легких елементів до водню вимагає існування процесів активного перемішування речовини в малих та великих масштабах, яких немає. Ще спекулятивнішою є космогонічна складова теорії квазістаціонарного Всесвіту, яка мала б пояснити формування галактик, скупчень галактик та великомасштабної структури. Автори вважають, що нова баріонна речовина утворюється в областях найбільших згущень баріонної речовини вибухоподібним чином (спалахи

наднових, ядра активних галактик, квазари тощо), викидається в міжгалактичний простір, де і формуються нові галактики.

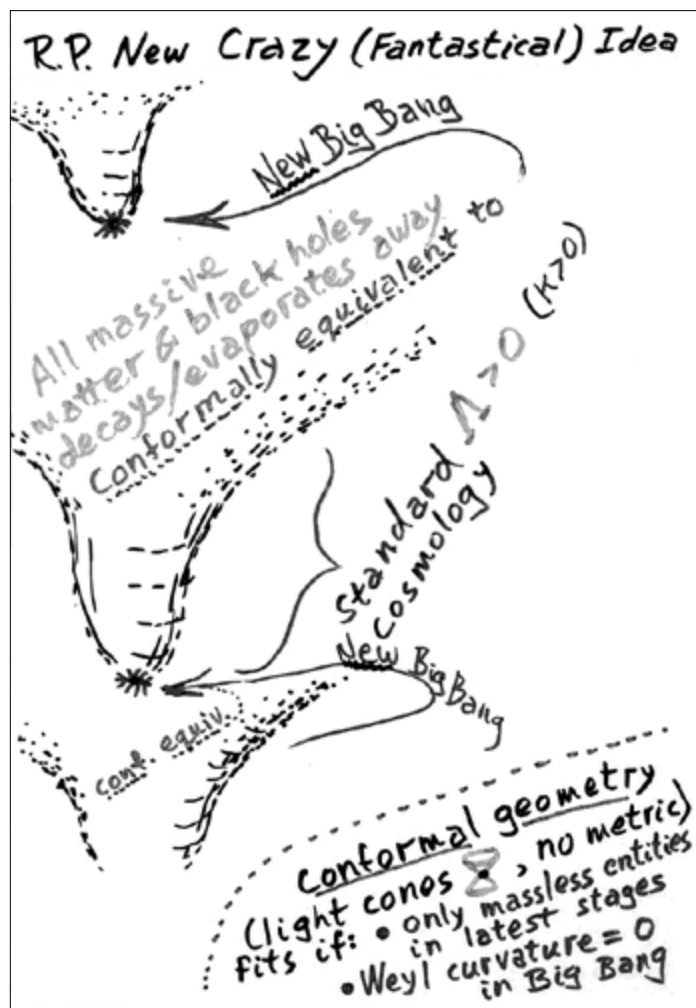


Рис. 5. Одна з прозірок з доповіді Р. Пенроуза "Before the Big Bang? A new perspective on the Weyl curvature hypothesis", виголошеної 11 липня 2005 р. в Інституті математичних наук імені Ісаака Ньютона, що ілюструє конформну еквівалентність еонів. (Взято із сайту <http://www.newton.ac.uk/webseminars/>.)

Інша цікава модель осцилюючого Всесвіту, яку недавно запропонував відомий математик і фізик-теоретик Роджер Пенроуз [29], отримала назву конформна циклічна космологічна модель (скорочено ССС, від conformal cyclic cosmology). У цій моделі, як і в попередніх, періодично відбуваються процеси розширення і стиснення, але проблему зростання ентропії від циклу до циклу (в ССС вони називаються еонами) вирішують чорні діри: вона буде мінімальною під кінець кожного еону, тому що чорні діри, якими закінчиться еволюція зір та галактик, випаруються під час розширення Все-

світу, перетворивши все на кванти електромагнітного випромінювання, а елементарні частинки (ферміони), що не потрапили в чорні діри, розпадуться на бозони. У зв'язку з цим, кінець кожного еону стає подібним на його початок – великий вибух: мінімальна ентропія та конформна відповідність метрики простору-часу одного еона іншому. Кінець одного еона – експоненціальне розширення є початком (великим вибухом) наступного (Рис. 5). Тривалість одного еону є порядку гугола (10^{100}) років. Автори пропонують механізм народження частинок матерії одразу після чергового великого вибуху із фізичного поля, яке в попередньому еоні відіграло роль конформного множника метрики простору-часу. У моделі Пенроуза рання інфляційна стадія на початку кожного еона відсутня, однак, на думку автора, проблеми стандартної моделі Великого вибуху тут не виникають через експоненціальне розширення наприкінці попереднього еона (пізня інфляція). Важливою рисою ССС є можливість реєстрації сигналу, випроміненого в попередньому еоні, тобто до Великого вибуху. Р. Пенроуз разом із В. Гурзядяном у статті [29] показали, що потужні гравітаційні хвилі, згенеровані у процесі злиття надмасивних чорних дір наприкінці попереднього еона, мали б зумовити концентричні кільця з дещо пониженою температурою на карті флуктуацій температури реліктового випромінювання. До того ж, автори заявили, що вони виявили такі структури на картах, отриманих в експериментах WMAP [17, 18] та BOOMERanG [23]. Кілька груп астрофізиків пробували незалежно відтворити ці результати і прийшли до висновку, що статистична значущість детектування кільцевих структур є надто малою, щоб бути аргументом на користь ССС моделі. Є й інші питання до цієї моделі, на які поки що не має задовільної відповіді. Зокрема, одним із центральних місць теорії є розпад всіх частинок, протонів й електронів, які не потрапили в чорні діри, на безмасові частинки. Але це питання фізичного експерименту. Поки що нема жодних ні теоретичних, ні експериментальних мотивів захищувати електрон до нестабільних частинок. Як відбувається зміна еонів та перетворення частинок і полів при цьому? Як генерується початковий спектр збурень густини, які стали зародками елементів спостережуваної структури Всесвіту? Як народжується матерія? Чи є в цій моделі епоха космологічного нуклеосинтезу? Список питань можна продовжити... Відсутність відповідей, однак, ще не є

аргументом проти моделі, яка є значно молодшою від традиційної інфляційної моделі Всесвіту. Остання ще теж не є завершеною теорією, але тисячна армія науковців, що перевіряє і розробляє її різні аспекти, поки що не знайшла вагомих контраргументів.

Отже, еволюційна модель Всесвіту з інфляційною стадією на самому ранньому етапі розширення (Рис. 4) сьогодні є найбільш розробленою. Практично усі отримані дотепер дані спостережувальної космології мають логічне пояснення і піддаються числовому моделюванню. До того ж, передбачення цієї теорії часто випереджали можливості їх спостережувальної перевірки. Узгодженість теоретичних передбачень із сьогоднішніми високоточними даними спостережень, отриманих на найбільших наземних, стратосферних та космічних телескопах, сягає кількох відсотків. Це дає підстави вважати, що космологія стала точнісною (precision cosmology в західній літературі) галуззю науки ХХІ ст. Це не означає, що космологія уже завершена, все відомо, і залишилось уточнити значення фізичних параметрів нашого Всесвіту. Є ще багато білих плям, вивчення яких може радикально змінити наші уявлення про світ, у якому ми живемо. Серед них – природа частинок темної матерії, природа і властивості темної енергії. Усієї баріонної речовини, яка світиться або може світитися, астрономи бачать лише 20%. В яких місцях Всесвіту ховається решта 80% баріонної речовини? Це робота ще для багатьох поколінь фізиків і астрономів. Найскладнішою, однак, залишається проблема Початку.

Перші два пункти етапів еволюції Всесвіту (с. 18–19) – це гіпотеза, яка за сучасними теоретичними уявленнями і технічними можливостями не може бути перевірена. Річ у тім, що інфляційна стадія має одну важливу особливість: її кінцевий стан “погано пам’ятає” початкові умови, в яких вона почалася. Тому дебати, які точаться про те, що було до Великого вибуху, мають здебільшого теоретичний характер. Однак дві важливі властивості спостережуваного Всесвіту повинні мати “природне” пояснення у будь-якій моделі: однаковість фізичних сталих всюди і завжди та точна налаштованість значень фізичних сталих для виникнення життя земного типу. Однаковість фізичних сталих у спостережуваному Всесвіті свідчить про те, що їхнє значення у квантовій флуктуації, з якої роздувся наш Всесвіт, були встановлені до початку інфляції. Обґрунтування другої властивості вимагає додаткового пояснення. Річ у тім, що розмірність про-

стору-часу, всі фундаментальні фізичні сталі, від яких залежить структура атомів та молекул, а також космологічні параметри (разом понад два десятки) мають такі значення, при яких тільки й може існувати життя, яке ми знаємо. Незначна зміна величини будь-якого з них призведе до того, що життя на Землі не могло б існувати. Ймовірність випадкової реалізації саме таких значень фізичних та космологічних сталих мізерно мала... Пояснення другої властивості впливає з Антропного принципу, який багато вчених приймає на віру як аксіому: за безмежний проміжок часу в минулому (пункт 1 на с. 18) серед безмежної кількості “невдалих” реалізацій сталася й така, що привела до утворення Всесвіту, в якому змогло виникнути життя і ми з вами зі своїм прагненням пізнати світ у всіх його вимірах, фізичних та духовних.

Очевидно, що у питанні Початку сучасна космологія підійшла до межі, за якою уже не піддається перевірці. Це сфера, в якій фізика переплітається з філософією та релігією.

НАЙБЛИЖЧІ ПЕРСПЕКТИВИ

У час написання цих рядків у точці Лагранжа L_2 , яка знаходиться на відстані $\sim 1,5$ млн км від Землі у протилежному від Сонця напрямку, продовжують свою роботу два найбільших і найчутливіших космічних телескопи – Planck і Herschel. Звідти вони вивчають ранній Всесвіт із безпрецедентною точністю. Перший із них, Planck, будує карту всього неба у променях реліктового електромагнітного випромінювання (мікрохвильовий діапазон) з чутливістю і роздільною здатністю у 10 і 3 відповідно разів вищими, ніж це зроблено в експерименті WMAP. Це дасть можливість уточнити значення космологічних параметрів, з одного боку, та виявити поляризацію реліктового електромагнітного випромінювання, зумовленого реліктовими гравітаційними хвилями, з другого. Вчені сподіваються за допомогою цього телескопа протестувати моделі раннього Всесвіту. Другий телескоп, Herschel, який працює в далекій інфрачервоній області спектра електромагнітного випромінювання (субміліметровий діапазон), вивчає епоху перших зір та галактик, а також молекули в епоху темних віків та в міжгалактичному середовищі. За його допомогою буде протестовано сценарії формування перших світних об’єктів Всесвіту.

У найближчі роки очікується суттєвий прогрес у вивченні Всесвіту й у найменших масштабах. Насамперед фізики плекають надії на результати експериментів, для яких створено Великий адронний колайдер у ЦЕРНі, поблизу Женеви. Влітку 2012 оголошено про реєстрацією нової частинки, яка, швидше за все, і є тим самим бозоном Гігса, існування якого передбачає Стандартна модель. Якщо це справді він, то маємо ще одне підтвердження правильності Стандартної теорії елементарних частинок та фундаментальних взаємодій у загальних рисах. Але її неповнота уже теж очевидна – виявлені осциляції нейтрино [11] та темна енергія не вписуються у Стандартну модель. У цьому ж експерименті буде відтворено фізичні умови у плазмі, близькі до тих, які мали місце в мільярдну частку секунди після Великого вибуху (кварк-глюонна плазма). Можливо, у цьому ж експерименті будуть знайдені відповіді на запитання щодо природи частинок темної матерії та баріонної асиметрії нашого Всесвіту.

В останні десятиліття активно проводять підземні експерименти з метою прямого детектування частинок темної матерії (див. огляд [1]). Якщо частинки темної матерії розпадаються і одним із продуктів розпаду є рентгенівські або γ -кванти, то чутливі у цих ділянках спектра космічні телескопи (XMM Newton, Chandra, Integral, Fermi Gamma-ray Space Telescope) здатні реєструвати їх у напрямку гало масивних галактик. Відповідні програми спостережень уже ведуться.

Отже, результати розпочатих експериментів можуть уточнити, доповнити, а в дечому і змінити наші уявлення про будову та еволюцію Всесвіту та природу його прихованих компонент – темної матерії та темної енергії – уже впродовж найближчих кількох років.

ЛІТЕРАТУРА

1. Апуневич С., Кулініч Ю., Новосядлий Б., Пелих В. Темна матерія та темна енергія у Всесвіті: астрофізичні підстави та теоретичні моделі // *Кинематика и физика небесных тел.* – 2009. – Т. 25. – С. 83.
2. Линде А. Теория элементарных частиц и инфляционная космология. – М.: Наука, 1999.
3. Лифшиц Е. М. О гравитационной устойчивости расширяющегося мира // *Журнал эксперим. и теор. физики.* – 1946. – Т. 16, 7. – С. 585.
4. Bondi H., Gold T. The Steady-State Theory of the Expanding Universe // *MNRAS.* – 1948. – V. 108. – P. 252.

5. Burbidge G. A Realistic Cosmological Model Based on Observations and Some Theory Developed Over the Last 90 Years // *arXiv:0811.2402 [astro-ph]*.
6. Carroll S. M. The cosmological constant // *Living Rev. Rel.* – 2001. – V. 4. – P. 1.
7. De Sitter W. On the Relativity of Inertia: Remarks Concerning Einstein's Latest Hypothesis // *Proc. Kon. Ned. Akad. Wet.* – 1917. – V. 19. – P. 1217; V. 20. – P. 229.
8. Einstein A. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie // *Ann. Phys.* – 1916. – V. 49. – P. 769.
9. Einstein A. Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie // *Sitz. Preuss. Akad. Wiss. Phys. Math.* – 1917. – P. 142.
10. Friedmann A. Curvature of the Universe // *Z. Phys.* – 1922. – V. 10. – P. 377.
11. Fukuda Y. et al. Constraints on Neutrino Oscillation Parameters from the Measurement of Day-Night Solar Neutrino Fluxes at Super-Kamiokande // *Phys. Rev. Lett.* – 1999. – V. 82. – P. 1810.
12. Gamow G. The Evolution of the Universe // *Nature.* 1948. – V. 162. – P. 680.
13. Guth A. H. Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems // *Phys. Rev.* – 1981. – V. D23. – P. 347.
14. Guth A. H. The inflationary universe // *Addison-Wesley.* – 1997.
15. Hanany S., et al. MAXIMA-1: A Measurement of the Cosmic Microwave Background Anisotropy on Angular Scales of 10^{-5}° // *Astrophysical Journal Letters.* – 2000. – V. 545. – P. 5.
16. Hawking S. W. & Penrose, R. The Singularities of Gravitational Collapse and Cosmology // *Proc. Roy. Soc. Lon. Ser. A, Math. Phys. Sc.* – 1970. – V. 314. – P. 529.
17. Hinshaw G. et al. First-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: The Angular Power Spectrum // *Astrophysical Journal Suppl. Ser.* – 2003. – V. 148. – P. 135.
18. Hinshaw G. et al. Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Cosmological Parameter Results // *arXiv:1212.5226 [astro-ph]*.
19. Hoyle F. A New Model for the Expanding Universe // *MNRAS.* – 1948. – V. 108. – P. 372.
20. Hoyle F., Burbidge G. & Narlikar J. V. A quasi-steady state cosmological model with creation of matter // *Astrophysical Journal.* – 1993. V. 410. – P. 437.
21. Hubble E. A Relation Between Distance and Radial Velocity Among Extra-Galactic Nebulae // *Proc. Nat. Acad. Sci. (Wash.).* – 1929. – V. 15. – P. 168.
22. Linde A. A new inflationary universe scenario: A possible solution of the horizon, flatness, homogeneity, isotropy and primordial monopole problems // *Phys. Lett.* – 1982. – V. 108B. – P. 389.

23. Mauskopf P., et al. Measurement of a Peak in the Cosmic Microwave Background Power Spectrum from the North American Test Flight of BOOMERanG // *Astrophysical Journal Letters*. – 2000. – V. 536. – P. 59.
24. Narlikar J. V., Burbidge G., Vishwakarma R. G. Cosmology and cosmogony in a cyclic universe // *J. Astroph. Astron.* – 2007. – V. 28. – P. 67.
25. Padmanabhan T. Narlikar J. *Structure formation in the universe*. – Cambridge University Press, 1995.
26. Peacock J. P. *Cosmological physics*. – Cambridge University Press, 1999.
27. Peebles P. J. E. Large-scale background temperature and mass fluctuations due to scale-invariant primeval perturbations // *Astrophysical Journal*. – 1982. – V. 263. – P. L1.
28. Peebles P. J. E. *Principles of Physical Cosmology*. – Princeton University Press, 1993.
29. Penrose R. *Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe*. – London, 2010; Gurzadyan V. G. and Penrose R. On CCC-predicted concentric low-variance circles in the CMB sky, arXiv:1302.5162 [astro-ph].
30. Penzias A. A., Wilson R.W. A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s // *Astrophysical Journal*. – 1965. – V. 142. – P. 419.
31. Perlmutter S., et al. Measurements of Omega and Lambda from 42 High-Redshift Supernovae // *Astrophysical Journal*. – 1999. – V. 517. – P. 565.
32. Raine D. J. Thomas E. G. *An introduction to the science of cosmology*. – Inst. of Phys., 2001.
33. Rees, M. *New perspectives in astrophysical cosmology*. – Cambridge University Press, 2000.
34. Riess A., et al. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant // *Astronomical Journal*. – 1998. – V. 116. – P. 1009.
35. Sachs R. K., Wolfe A. M. Perturbations of a Cosmological Model and Angular Variations of the Microwave Background // *Astrophysical Journal*. – 1967. – V. 147. – P. 73.
36. Sahni V., Starobinsky A. The Case for a Positive Cosmological Λ -Term // *Intern. J. Mod. Phys. D*. – 2000. – V. 9 – № 4. – P. 373.
37. Smoot G. F. et al. Structure in the COBE differential microwave radiometer first-year maps // *Astrophysical Journal Letters*. – 1992. – V. 396. – P.1.
38. Старобинский А. А. Спектр мощности реликтовых гравитационных волн и ранняя стадия Вселенной // *Письма в ЖЭТФ*. – 1979. – Т. 30. – С. 719.
39. Starobinsky A. A. A new type of isotropic cosmological models without singularity // *Phys. Lett. Ser. B*. – 1980. – V. 91. – P. 99.
40. Zwicky F. Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln // *Helv. Phys. Acta*. – 1933. – V. 6. – P. 110.

ВІД ОСНОВ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ ДО КВАНТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Володимир Ткачук

*Львівський національний університет
імені Івана Франка*

ВСТУП

Насамперед хочу застерегти Читача від думки про те, що, прочитавши цю статтю, він зрозуміє квантову механіку. Якщо така думка виникне, то це – помилка. Квантову механіку радше можна прийняти, ніж зрозуміти її. Зрозуміти, маю на увазі, звести до здорового глузду. Тим паче, що здоровий глузд у кожної людини свій і залежить він життєвого досвіду. Особливо гостро я це відчув, спілкуючись з людьми, які називають себе творчими. Інколи дехто так часто називає себе творчою людиною, що починаєш у цьому сумніватися. Напевне, творчість є в кожній царині людської діяльності. А те, виявляє людина творчість, чи ні, залежить від самої людини. І серед творчих людей є і творчі, і, на жаль, нетворчі люди.

Проте повернімось до нашої теми. Кожен із нас час до часу з тих чи тих причин казав: “Це не піддається здоровому глузду”. Саме ці слова стосуються квантової механіки. Тому не потрібно приміряти свого здорового глузду до квантової механіки, яка описує поведінку мікрочастинок. Чому про це пишу? Мій виступ на семінарі “Обрії науки” в Українському католицькому університеті з популярною лекцією про квантову механіку, де переважно була гуманітарна аудиторія, заклав у мене сумнів, чи правильно було це робити на занадто популярному рівні. Під час виступу мені здалося, що все йде добре, слухачі ставлять розумні запитання. Проте після лекції і дискусії я зрозумів, що гуманітарний здоровий глузд і мій популізм створили в головах декого зі слухачів таку карикатуру, яка не мала нічого спільного із квантовою механікою. Щогірше, це була достатньо агресивна карикатура, і будь-які мої спроби виправити ситуацію і пояснити докладніше не були успішними. Хоча, можливо, ця карикатура існувала і до моєї лекції. Проте все-таки надіюся, що більшість слухачів склала собі більш-менш правильну картинку про квантову механіку. Але я все-таки не ризикнув писати занадто популярної статті про квантову механіку, хоча

скористаюся лише елементами математики із середньої школи. Читачеві все-таки доведеться докласти певних зусиль, щоб зрозуміти те, про що йтиметься далі.

ЕТАПИ РОЗВИТКУ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ

Не робитиму широкого історичного вступу, а згадаю тільки основні етапи розвитку квантової механіки. Зацікавлений Читач сам знайде відповідні публікації.

Епоху квантової механіки відкрила 1900 року робота Планка, у якій, щоб пояснити поглинання і випромінювання абсолютно чорного тіла, він увів кванти енергії електромагнітного випромінювання. У 1905 році А. Айнштайн скористався ідеєю Планка, щоб пояснити явище фотоефекту. Нільс Бор 1913 року застосував квантову гіпотезу для пояснення енергетичних спектрів атомів і розвинув так звану “стару” квантову механіку, яку удосконалив Зомерфельд. Ця теорія добре описувала одноелектронні атоми, проте, виявилась безсилою, щоб пояснити спектральні закономірності багатоелектронних атомів. Розвиток нової квантової механіки розпочався з двох різних її форм. У 1923–1924 роках Луї де Бройль висунув припущення, що з кожною частинкою пов’язується хвиля. Ервін Шредінгер, ознайомившись із цією роботою у січні 1926 року, записав славнозвісне рівняння, яке тепер називається рівнянням Шредінгера, і тим була започаткована хвильова квантова механіка. Дещо раніше, у червні 1925 року, Вернер Гайзенберг побудував матричну квантову механіку, у якій координати та імпульси частинок замінялися певними матрицями. Різні за формою теорії виявились представленнями однієї і тієї ж теорії, яку ми тепер називаємо квантовою механікою, що 1926 року довів Шредінгер. Цей бурхливий період творення основ квантової механіки закінчився 1928 року, коли Поль Дірак відкрив релятивістське хвильове рівняння для електрона.

Хоча основні рівняння й елементи теорії були відомі, довго не вдавалося з’єднати їх у струнку систему. На відміну від класичних теорій, де після вироблення основних понять і написання основних рівнянь не виникало особливих проблем з їх інтерпретацією, у квантовій теорії власне інтерпретація потребувала серйозного аналізу. У результаті глибоких дискусій багатьох учених в інституті Бора в Копенгагені була ви-

роблена її чітка інтерпретація. Бор її представив 1927 року на Солвеївському конгресі у Брюсселі й вона отримала назву копенгагенської інтерпретації квантової механіки. Несподівано для багатьох А. Айнштайн не прийняв копенгагенської інтерпретації і не міг змиритися з багатьма висновками квантової механіки. Цей конгрес став відправною точкою у довголітній дискусії між Бором та Айнштайном. Інструментом у цих дискусіях були мисленнєві експерименти — експериментальні схеми, які в принципі можна реалізувати, хоча, можливо, і складно з технічного погляду. Айнштайн придумував черговий експеримент, який, на його думку, доводив неповноту квантової механіки і давав на розгляд Борові. В результаті багатолітніх дискусій виявилось, що Бор мав рацію, і квантова механіка була захищена від нападок Айнштайна, які, однак, зіграли надзвичайно важливу й позитивну роль у розвитку квантової механіки. Варто згадати знаменитий мисленнєвий експеримент, який 1935 року запропонували А. Айнштайн, Б. Подольський і Н. Розен, що приводить до так званого парадоксу EPR. Цей парадокс дискутували протягом багатьох років, аж поки 1964 року появилася робота Белла, де були отримані певні нерівності, які дали змогу перевести дискусію в експериментальну площину. Експерименти, які 1982 року провів Аспект, підтвердили висновки квантової механіки, якими б парадоксальними вони не виглядали з точки зору здорового глузду чи класичної інтуїції і тим відкинули аргументи Айнштайна, Подольського і Розена про неповноту квантової механіки. До того ж, у результаті обговорень парадоксу EPR було виявлено таке явище, як квантові кореляції, яке, крім суто теоретичного, має важливе прикладне значення. На його основі 1993 року була запропонована теоретична схема квантової телепортації, а 1997 року був проведений перший експеримент із квантової телепортації фотонів. Це явище також лежить в основі квантової криптографії, квантових обчислень та квантових комп’ютерів. За останні кілька десятиліть ці дослідження об’єдналися в нову галузь – квантову інформацію.

ПОСТУЛАТИ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ

Перейдімо до самого предмета. Для того, щоб говорити про квантову механіку, пропоную вивчити основні поняття та постулати цієї науки. Утім ми не будемо слідувати історичній логіці розвитку, а радше логіці самого предмета. Отже, наше завдання – навчитися мови, якою ми розмовляємо з мікросвітом.

Вектор стану. Щоб сформулювати поняття вектора стану, спочатку розгляньмо класичну частинку, яка може міститись в одному із двох ящиків, білому або чорному. Домовмось, що ситуації, коли частинка перебуває у білому ящику, відповідає 0, а ситуації, коли частинка є у чорному ящику, відповідає 1. Вважатимемо, що частинка має два стани 0 і 1. Це є прикладом фізичної реалізації важливого поняття класичної інформації – класичного біта. Поки ми не відкриємо ящики, не знаємо, в якому з них міститься частинка, тобто не знаємо, у якому стані вона перебуває. Маємо дві можливості. Одна можливість – частинка є у білому ящику, або інакше – у стані 0. Цю можливість позначмо дужками, а саме $|0\rangle$. Можливість, що частинка міститься у чорному ящику, тобто у стані 1, позначмо відповідно $|1\rangle$. Для класичної частинки справедливе таке очевидне твердження: частинка може перебувати або у стані $|0\rangle$, або у стані $|1\rangle$. Важливе у цьому твердженні власне “або–або”. Квантовий світ живе за іншими законами, ніж класичний. У квантовому світі стани стають векторами, які називають векторами станів. Отже, стани у квантовій механіці задають векторами.

Принцип суперпозиції. Вектори, як відомо, можна додавати. Закон додавання векторів у квантовій механіці формулюється так: якщо квантова частинка може перебувати у стані $|0\rangle$ і у стані $|1\rangle$, то вона може також перебувати у стані, який є їхньою сумою, а точніше – лінійною комбінацією

$$|\psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle.$$

Це твердження у квантовій механіці називають принципом суперпозиції. Ми обмежимося тільки дійсними числами a і b , хоча загалом вони можуть бути і комплексними. Стан $|\psi\rangle$ реалізує ситуацію, коли квантова частинка одночасно перебуває і в $|0\rangle$ і в $|1\rangle$. У цьому твердженні важливе якраз “і–і” на відміну від класичного “або–або”. Зауважмо, що вектор стану $|\psi\rangle$ представляє квантовий біт. Тут не варто робити спроби за допомогою здорового глузду зрозуміти, як же час-

тинка одночасно може перебувати і в білому, і чорному ящику. Зробіть зусилля і прийміть це, бо власне так поведуться мікрочастинки.

Природно ввести поняття довжини вектора, яку позначимо $\langle\psi|\psi\rangle$. Вектори станів $|0\rangle$ і $|1\rangle$, які відповідають двом альтернативам, природно вважати ортогональними, тобто $\langle 0|1\rangle = \langle 1|0\rangle = 0$ і за величиною рівними $\langle 0|0\rangle = \langle 1|1\rangle = 1$. Тоді теорема Піфагора для довжини вектора дає:

$$\langle\psi|\psi\rangle^2 = a^2 + b^2.$$

Зауважмо, що a і b визначають частку, з якою вектори $|0\rangle$ і $|1\rangle$ входять у $|\psi\rangle$. Тому важливе співвідношення між a і b , а не сама їх величина. Зручно вибрати довжину вектора $|\psi\rangle$ рівною одиниці, тоді

$$a^2 + b^2 = 1.$$

Звідси видно, що кількісною характеристикою частки, з якою $|0\rangle$ входить в $|\psi\rangle$, є a^2 . Відповідно b^2 є кількісною характеристикою частки, з якою $|1\rangle$ входить в $|\psi\rangle$. Наприклад, $a^2 = b^2 = 1/2$ означає, що стани входять в однакових пропорціях.

Постулат про вимірювання. Про те, як відбувається наше спілкування з мікросвітом, свідчить постулат про вимірювання. Сформулюймо цей постулат на прикладі частинки, яка перебуває у стані

$$|\psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle.$$

Проведімо вимірювання, щоб встановити, в якому стані перебуває частинка. Іншою мовою, відкриймо ящики, щоб виявити, де міститься частинка. Постулат про вимірювання свідчить, що з імовірністю a^2 ми виявимо частинку у стані $|0\rangle$, тобто в білому ящику, а з імовірністю b^2 – у стані $|1\rangle$, тобто у чорному ящику. Чому імовірності визначаються a^2 і b^2 , а не, скажімо, a і b , чи іншими функціями a і b . Імовірності повинні задовольняти прості властивості: вони повинні бути додатні, а також їхня сума повинна дорівнювати одиниці. Цим властивостям, згідно з $a^2 + b^2 = 1$, задовольняють саме a^2 і b^2 . Друга частина постулату свідчить, що вектор стану при цьому моментально змінюється, редукується від стану $|\psi\rangle$ до стану $|0\rangle$, якщо частинка буде виявлена в білому ящику, і відповідно редукується до стану $|1\rangle$, якщо частинка буде виявлена в чорному ящику.

Звернімо увагу на кілька важливих моментів постулату про вимірювання. Перший – це імовірнісний характер результату вимірювання. Імовірність у цьому випадку має фундаментальний характер, а не є резуль-

татом нашого незнання чи неточного виміру. Другий – це редукція вектора стану, яка відбувається миттєво, звичайно, за умови ідеального вимірювання. Редукція також означає, що вимірювання впливає на стан квантової системи, змінюючи його. У класичному світі можна як завгодно точно провести виміри, не змінюючи стану системи. Як видно, у квантовому світі ситуація кардинально інша, тобто не існує способу зменшити вплив вимірювання на стан квантової системи.

Ще один важливий аспект вимірювання у квантовій механіці полягає в тому, що результат виникає під час вимірювання, його не існує до вимірювання. Пояснимо це докладніше на вимірюванні, мета якого – встановити, у якому ящику міститься частинка. Нехай частинка перебуває у стані

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle + |1\rangle).$$

У цьому стані частинка не надає переваги жодному з ящиків. Ніхто в принципі не знає, де міститься частинка, поки не проведено відповідного експерименту. Відкриємо один з ящиків, наприклад, білий ящик, і встановимо, є в ньому частинка, чи нема. З імовірністю 1/2 ми виявимо її в цьому ящику, а з імовірністю 1/2 – ні, тобто вона в іншому ящику. У конкретному експерименті реалізується одна з двох можливостей. Нехай ми виявили, що частинка є у білому ящику. Власне у момент відкривання ящика відбувається редукція, і частинка локалізується у білому ящику, результат виникає у момент відкривання ящика. Тепер розгляньмо подібну ситуацію у класичному світі. Класична кулька є в одному з ящиків. Будь-хто може встановити, де міститься кулька, не вплинувши на її стан, важливо, власне, що стан при цьому не змінюється. Тоді цей хтось знає, де перебуває кулька (наприклад, у білому ящику), тільки ми не знаємо. Отже, ще до нашого виміру кулька була в білому ящику. Це кардинально відрізняється від квантового випадку.

Еволюція квантової системи. Сформульовані постулати стосуються фіксованого моменту часу й нічого не говорять, як змінюються у часі квантові системи, тобто, як відбувається еволюція вектора стану. Відповідь для нерелятивістської квантової механіки на це запитання дає рівняння Шредінгера. Не виписувати мемо цього рівняння, оскільки це б завело нас занадто далеко, а тим паче, нам це не потрібно.

Узагальнення на сукупність частинок. Введені в цьому розділі поняття легко узагальнюються на сукуп-

ність частинок. Якщо сукупність класичних частинок може перебувати у станах, які позначимо: A, B, C, \dots , то у квантовому світі цим станам відповідають вектори станів: $|A\rangle, |B\rangle, |C\rangle, \dots$. Принцип суперпозиції тоді свідчить, що квантова система може перебувати у стані, який є їхньою суперпозицією

$$|\psi\rangle = a|A\rangle + b|B\rangle + c|C\rangle + \dots$$

Наприкінці цього параграфа доречно зауважити, що $|\dots\rangle$ називають кет-векторами а $\langle\dots|$ – бра-векторами. Ці позначення і назви ввів Дірак, і вони походять від англійського слова bracket.

ПАРАДОКСИ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ

Розгляньмо кілька мисленневих експериментів, у яких спеціально загострена суперечність між постулатами квантової механіки й нашим повсякденним досвідом, який ми називаємо здоровим глуздом. Ця суперечність викликає почуття парадоксу.

Парадокс із котом Шредінгера. Кіт складається із скінченної кількості атомів. Нема принципівих заперечень проти того, щоб розглядати цю сукупність атомів як квантову систему. Помістімо kota в ідеально ізольований від зовнішнього оточення ящик. Розгляньмо два стани, у яких можуть перебувати атоми. Один стан відповідає живому котові, і описаний вектором стану

$$|\text{живий кіт}\rangle,$$

другий – мертвому, з відповідним вектором стану

$$|\text{мертвий кіт}\rangle.$$

Тоді згідно з принципом суперпозиції кіт може перебувати у стані, який є суперпозицією живого і мертвого kota, а саме:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|\text{живий кіт}\rangle + |\text{мертвий кіт}\rangle).$$

Важливий елемент розуміння явища – це дати йому назву. Можна назвати цей суперпозиційний стан “живомертвий кіт” чи “ні живий ні мертвий”. Хоча в цьому випадку це мало що додає до розуміння. Здоровий глузд каже, що кіт не може бути трошки живий, трошки мертвий. Утім не покладатимемось на здоровий глузд у квантовому випадку, а будемо діяти згідно з постулатами квантової механіки. Нема сенсу говорити, який є кіт, живий чи мертвий, поки ми не провели відповідного вимірювання. Щоб встановити, живий кіт чи мертвий, відкриємо ящик. З імовірністю 1/2 ми виявимо kota живим і з імовірністю 1/2 – мертвим. Згідно з

постулатом про вимірювання редукція kota до живого чи до мертвого відбулася у момент відкриття ящика. Саме наші дії (відкриття ящика) створили живого чи мертвого kota.

Свідомість та квантова механіка. Розв'ямо парадокс Шредингера далі. Візьму на себе відповідальність і нехай власне я проведу експеримент із котом, тобто відкрию ящика. Коли фотони відіб'ються від kota і потраплять мені в око, я зможу зробити висновок мертвий кіт чи живий. Однак я, як і кіт, складаюся зі скінченної кількості атомів. Це означає, що мої руки, які відкривають ящика, мої очі, які бачать kota, мій мозок, який аналізує живий кіт чи мертвий, зрештою весь я можуть бути включені в єдину з котом квантову систему. Тоді виникає запитання, хто проводить вимір над цією єдиною квантовою системою? Вимір відбувається тоді, коли я усвідомлю, у якому стані кіт. Ці міркування наводять на думку, що вимірювання проводить моя свідомість.

Цей висновок занадто контроверсійний, щоб легко прийняти його. Найскладніший момент у наведеній схемі – це можливість ідеально ізолювати макроскопічну систему (kota) від зовнішнього оточення. Якщо відбувається взаємодія з оточенням, то що більшу кількість атомів містить система, то швидше вона скочується до одного зі станів (у цьому випадку живого чи мертвого kota). Це явище називається декогеренція. Для макроскопічної системи, такої як кіт, навіть нескінченно мала взаємодія з оточенням приводить до майже моментальної декогеренції. Тому на практиці ще до відкриття ящика внаслідок декогеренції кіт буде або живий, або мертвий.

Парадокс EPR. Дві і більше частинок у квантовому світі виявляють властивості, які відсутні у класичному. Парадокс EPR був сформульований для двох частинок. Отже, розгляньмо дві частинки, кожна з яких може перебувати у станах $|0\rangle$, $|1\rangle$. Старою мовою це означає, що перша частинка може перебувати у білому і чорному ящиках під номером 1, а друга частинка – відповідно, під номером 2. Тоді можливі такі стани двох частинок

$$|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle,$$

де перше число означає стан першої частинки, друге – другої. Звичною мовою, наприклад, вектор стану $|01\rangle$ означає, що перша частинка міститься у білому ящику під номером 1, а друга – у чорному під номером 2. Проте,

якщо Читач дійшов до цього місця, то він надіюся готовий замінити звичну мову простішою. Замість того, щоб писати довге речення і пояснювати, в якому ящику перебуває яка частинка, ми скористались простим записом $|01\rangle$. Аналогічно – для інших векторів станів.

Розгляньмо таку суперпозицію

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle).$$

Це – приклад вектора стану, у якому стани першої і другої частинки заплутані. Вперше назву “заплутані стани” (entanglement state) дав Шредингер. Дві частинки, які перебувають у стані, також називають EPR-парою. Вони демонструють властивості, які відсутні у класичному світі, а саме – квантові кореляції.

Наведемо міркування Айнштайна, Подольського і Розена, які призводять до парадоксу EPR. Рознесімо частинки на достатньо велику відстань. Вимірятьмо стан першої частинки. Нехай у результаті ми виявили, що перша частинка перебуває у білому ящику, тобто у стані $|0\rangle$. Тоді заплутаний стан редукується до $|01\rangle$. Це означає, що друга частинка після редукції виявиться у стані $|1\rangle$. Отже, вимірювання стану першої частинки моментально впливає на стан другої, і очевидно, навпаки. Це називають квантовими кореляціями. Звернімо увагу на те, що як би далеко не перебували між собою частинки, квантові кореляції присутні й не залежать від відстані. Саме неприйняття Айнштайном, Подольським і Розеном квантових кореляцій призводить до парадоксу EPR і, на їхню думку, доводить неповноту квантової механіки. Пояснення самого парадоксу залишу поза межами цієї статті.

Здавалось би, що квантові кореляції суперечать одному з принципів спеціальної теорії відносності, а саме про неможливість передачі інформації швидше від швидкості світла. Проте докладний аналіз свідчить, що квантові кореляції не дають можливості передавати інформації. З цим пов'язана проста і надзвичайно важлива *теорема про неклонуння у квантовій механіці*, яка стверджує, що неможливо склонувати невідомий квантовий стан. Докладніше вона означає таке: нехай квантова система перебуває в певному невідомому нам квантовому стані. Тоді неможливо сконструювати прилад, який би утворив точну копію цієї квантової системи в тому самому стані. У класичному світі такої теореми нема, і звичайний ксерокс успішно впорається з цим завданням.

Надзвичайно важливою у розв'язанні парадоксу EPR стала робота Белла, де, виходячи із класичних принципів локальності та причиновості, для двох частинок були встановлені певні нерівності. Формулюючи парадокс EPR, ці самі принципи використали Айнштайн, Подольський і Розен. Квантова теорія для двох частинок, які утворюють EPR-пари, порушує ці нерівності. Причина цього – нелокальність EPR-пари – вимірювання, проведені над однією частинкою, моментально впливає на стан другої. Отже, справа була за експериментом, який і підтвердив висновки квантової механіки.

КВАНТОВА ІНФОРМАЦІЯ

Квантова інформація містить у собі такі речі, як квантова телепортація, квантова криптографія, квантові обчислення та квантові комп'ютери. Я тільки дуже коротко згадаю про це.

Квантова телепортація. Термін “телепортація” з'явився у науковій фантастиці й означає знищення об'єкта чи людини в одному місці *A* і появу ідеальної копії в іншому *B*. Класичний телепортатор складається з двох приладів. У місці *A* розміщений прилад, який знімає повну інформацію про об'єкт і передає її до *B*, де є прилад, який, отримавши інформацію про об'єкт, відтворює його точну копію. Мати повну інформацію – означає знати, з яких атомів складається об'єкт, їхнє положення та швидкість. Проте принцип невизначеності Гайзенберга заперечує можливість одночасно визначити положення та швидкість атомів, а отже, заперечує можливість класичної телепортації. Проте нагадаймо, що у квантовій механіці стан системи задають вектором стану, а не координатами і швидкостями. Виявляється, що квантова механіка дає змогу телепортувати саме вектор стану системи. Цей процес називають квантовою телепортацією.

Звернімо увагу на принципові моменти телепортації. Для телепортації потрібно два канали – квантовий і класичний. Роль квантового каналу виконує EPR-пара. Необхідність класичного каналу спричинює те, що квантова телепортація відбувається не швидше від швидкості світла. Внаслідок квантової телепортації стан частинки, який ми телепортуємо, знищується і перекидається на частинку, яка перебуває в місці, куди

ми телепортуємо стан. Тут працює теорема про неклонування. Якщо б стан першої частинки не знищувався, то після телепортації ми мали б дві копії того самого стану. Тобто відбулося б клонування невідомого стану, що заборонено теоремою про неклонування.

Квантова криптографія. Квантова криптографія використовує фундаментальні властивості квантової фізики для абсолютно секретної передачі інформації, тобто для створення каналів зв'язку, які в принципі не можна підслухати так, щоб про це не дізналися відправник і приймач інформації. Зауважмо, що це найуспішніший проект квантової інформації, де теоретичні дослідження впроваджені у практику.

Основа квантової криптографії, зрештою як і класичної, – це створення так званого розподіленого ключа. Ключ – це випадковий набір нулів та одиниць. Він служить для шифрування та дешифрування інформації. Розподілений ключ означає, що ідентичні ключі має відправник і приймач інформації. У класичній криптографії ніхто не може гарантувати, що хтось третій не має цього ключа, і тоді інформація, яка передається, перестає бути секретною. Завдання квантової криптографії – власне створити розподілений ключ, так щоб їх мали тільки відправник і приймач інформації. А якщо хтось третій зробить спробу перехопити ключа, то про це обов'язково дізнаються відправник і приймач інформації. Не маючи можливості докладно пояснити схеми квантової криптографії, зауважу, що є різні варіанти квантової криптографії. Так в одному варіанті квантової криптографії суттєво використовують теорему про неклонування, а у другому – заплутані стани EPR-пари й нерівності Белла.

Квантові комп'ютери. Ідея обчислювальних приладів (квантових комп'ютерів), які ґрунтуються на принципах квантової механіки, виникла у 1980-х роках. Згідно із законом Мура, кількість електронних елементів в одиниці об'єму класичного комп'ютера щороку подвоюється і ми підходимо до межі, коли суттєвими стають квантові флуктуації. Вони призводять до нестабільної роботи класичних електронних елементів. Тому природно виникає ідея квантових комп'ютерів, що ґрунтуються саме на квантових властивостях.

Розгляньмо один із центральних елементів класичного комп'ютера, а саме – елемент, який реалізовує класичний біт. Роль такого елемента може виконувати будь-яка класична система, що має два стійкі, добре

розділені положення рівноваги. Наприклад, це може бути кулька, яка міститься у двоявному потенціалі й має два стійкі положення рівноваги, це можуть бути два ящики, про які йшлося вище. За домовленістю положення кульки в одному локальному мінімумі чи ящику відповідає 0, а в другому – 1, і ми маємо класичний біт. Зменшення розмірів цієї системи та маси кульки спричинить те, що важливим стане квантове тунелювання кульки крізь потенційний бар'єр, який розподіляє мінімуми. Тому класичний біт стає нестійким і система є суттєво квантовою. Така двостанова квантова система реалізує квантовий біт. Зменшення розмірів системи приводить нас від класичного біта до квантового. Тому природно виникає ідея побудови квантових комп'ютерів, які б оперували з квантовими бітами. Ця галузь глибоко досліджена теоретично і було показано, що деякі задачі квантовий комп'ютер розв'язує набагато ефективніше від класичного. Тому тепер науковці докладають значних зусиль для практичної побудови квантових комп'ютерів. Однією з проблем на цьому шляху є декогеренція, про яку ми говорили вище. Попри всі зусилля, про практичну побудову повноцінних квантових комп'ютерів поки що не йдеться. Хоча експерименти у цьому напрямі інтенсивно проводять і вони демонструють певний прогрес.

ІНФОРМАЦІЯ ТА ЕНТРОПІЯ У ФІЗИЦІ ТА СУСПІЛЬНОМУ ЖИТТІ

Іван Болеста

*Львівський національний університет
імені Івана Франка*

ВСТУП

Поняття “інформація” поряд з іншими загальними поняттями, такими як матерія, маса, енергія тощо, належить до первинних, а отже, не може бути означене строго. Це поняття є об’єктом філософських досліджень, в широкому спектрі яких займає місце і роль інформації в науковій картині світу, її взаємозв’язок з матерією і свідомістю, іншими фундаментальними поняттями, роль інформації в існуванні та розвитку живого, її вплив на духовну та матеріальну діяльність суспільства тощо.

Інформація є дуже широким поняттям навіть на побутовому рівні. Під нею розуміють те, що людина отримує під час спілкування. Без інформації людині тяжко орієнтуватись у незнайомому місці. У своїй діяльності людині перш ніж зробити, треба **знати**, як це зробити, тобто володіти інформацією. Всі ми добре знаємо, що інформація якимось чином закладена у живій природі (з жолудя виростає дуб, а не яблуна чи груша).

Інформації належить важлива роль у прогресі людства, оскільки у процесі його розвитку виникла необхідність зберігати набуті знання та досвід (тобто інформацію!), щоб кожного разу не “винаходити велосипеда”.

Вважається, що винайдення писемності стало першою інформаційною революцією в історії людства. Це пов’язано з тим, що писемність кардинально змінила механізм передачі (у часі і просторі) знань. Розвиток науки, освіти, мистецтва безпосередньо пов’язаний із виникненням писемності.

Друга інформаційна революція пов’язана із книгодрукуванням. Друкарський верстат дав змогу значно інтенсивніше тиражувати тексти, порівняно з їхнім переписуванням. Він породив нові галузі – книжкову, журнальну та газетну індустрію, паперовий документообіг тощо. Книгодрукування спричинило суперечності між можливостями накопичення інформації та її обро-

блення, які швидко наростали, призводячи до інформаційної кризи.

Сьогодні людство переживає третю інформаційну революцію, яка пов'язана з надзвичайно широким впровадженням комп'ютерних інформаційних технологій у діяльність людей. Вона розпочалась наприкінці ХХ – на початку ХХІ століття, і настільки експансивно увійшла в побут та професійну діяльність людей, що вже неможливо уявити собі життя без інформаційних технологій.

Зазначмо, що розвиток наук також привів до використання поняття інформації. Обґрунтуймо це твердження докладніше на прикладі фізики.

Довгий час природничі науки, насамперед фізика, для пояснення природи використовувала поняття динаміки. Той факт, що вся фізика будується на принципах динаміки, проявляється в основних одиницях вимірювання. Дійсно, такі фізичні одиниці як кілограм, метр, секунда вводяться у механіці матеріальної точки і на їхній базі визначаються одиниці інших фізичних величин.

На початку ХХ століття, коли зароджувалась квантова механіка, у науці з'явилася ймовірність при інтерпретації квадрата хвильової функції, яка, як буде показано далі, пов'язана з інформацією. У квантово-механічній теорії ймовірність, як суттєвий елемент, виходить на перший план, що породило дискусію про фізичний зміст хвильової функції. Відомий данський вчений Нільс Бор, один із засновників квантової механіки, вказував, що ймовірність надає хвильовій функції риси інформаційного характеру.

З 80-х років ХХ століття для опису складних, відкритих, динамічних систем, через які протікають великі потоки енергії, використовують динамічні та інформаційні аспекти. Отже, поряд із гравітаційною, електромагнітною, слабкою та ядерною взаємодією розглядають новий тип взаємодії, яку називають інформаційною [1].

ФІЗИЧНА СУТЬ ІНФОРМАЦІЇ

Міра інформації. Для створення наукової картини світу людство ввело деякі фундаментальні поняття і величини: простір, час, матерія, маса, енергія, ентропія. До таких понять належить також інформація. Як най-

більш загальні поняття, вони не можуть бути строго визначені, оскільки для цього потрібно увести ще якісь загальніші поняття.

Для вимірювання фізичних величин було уведено одиниці. Уведення таких одиниць було абсолютно суб'єктивним. Наприклад, вважали, що у метричній системі одиницею маси є 1 кілограм (1кг), під яким розуміли масу еталонного кілограма, що зберігається у Палаті мір та ваг біля Парижа. Прототип кілограма виготовлений із сплаву платини (90%) та іридію (10%) у виді циліндричної гирі, діаметр якої рівний його висоті і становить 39 мм.

Аналогічно було введено одиницю довжини – 1 метр (1м). У ХVІІІ ст. французька Академія наук прийняла визначення метра, як довжини однієї десятимільйонної частини від чверті паризького меридіана, що, на думку вчених, робило цю одиницю довжини «природною», тобто взятою безпосередньо з природи мірою. Виходячи з результатів вимірювання частини дуги паризького меридіана 1799 року, було виготовлено еталон метра у вигляді платинової лінійки шириною близько 25 мм, товщиною близько 4 мм і довжиною 1 м. Цей еталон назвали «метр архіву», оскільки його було передано на зберігання до національного архіву Франції.

Більш природним було визначення одиниці часу, оскільки у своїй практичній діяльності люди здавна використовували проміжки часу між двома послідовними явищами: рік – як час між двома послідовними проходженнями Сонцем точки весняного рівнодення та доба – час повного оберту Землі навколо осі. При цьому $1\text{год.}=1/24\text{ доби}$, $1\text{хв.}=1/60\text{ год.}$, $1\text{с}=1/60\text{ хв.}$ У метричній системі основною одиницею часу є 1 секунда (1 с), яка є рівною $1/31556925,9747$ року [2].

Уведені одиниці дали змогу отримувати одиниці вимірювань інших фізичних величин на основі співвідношень між ними. Наприклад, одиниця швидкості є м/с, одиниця сили – $(\text{кг} \cdot \text{м}) / \text{с}^2$, яку називають 1 Н (Ньютон), одиниця енергії – $(\text{кг} \cdot \text{м}^2) / \text{с}^2$, яку називають 1 Дж (Джоуль).

Для вимірювання температури в побуті використовується одиниця 1 градус Цельсія, названа на честь шведського вченого Андерса Цельсія, який запропонував 1742 р. нову шкалу для вимірювання температури. За нуль у шкалі Цельсія прийнята точка плавлення льоду (та замерзання води), а за 100 градусів – точка кипіння води (та конденсації пари) при стандартному атмос-

ферному тиску¹. В термодинаміці використовується шкала температури, одиницею якої є 1 Кельвін (1 К). За величиною $1\text{К}=1\text{ }^\circ\text{C}$, а абсолютний нуль температури (0 К) зсунутий до $-273,15\text{ }^\circ\text{C}$.

Спробуймо визначити міру іншої фундаментальної величини – інформації. В житті суспільства (на побутовому рівні, в наукових дослідженнях тощо) з інформацією пов'язують повідомлення, які передаються електронними та друкованими засобами, від співрозмовника тощо. Таке означення є якісним, оскільки у ньому відсутня кількісна міра інформації.

Уведемо кількісну міру інформації, яка виражатиметься певним числом, що дасть можливість суто філософському поняттю надати наукове визначення. Зрозуміло, що це визначення не може бути строгим, а відображатиме тільки його певні риси. Подібна ситуація має місце і при визначенні інших фундаментальних величин, зокрема, маси – як міри інертності. Це визначення не розкриває повністю суті поняття «маса», оскільки не відображає гравітаційних властивостей, її залежності від швидкості, зв'язку з енергією тощо. Це саме стосується енергії. Люди вміють порахувати тільки **зміну енергії** при протіканні певних процесів, а визначити енергії взагалі неможливо.

Відомо, що інформація передається повідомленнями, які побудовані з матеріальних знаків та/або сигналів. Для отримання інформації ці повідомлення необхідно сприйняти, розпізнати (зрозуміти) та запам'ятати. Під розпізнаванням розуміють послідовність етапів, які включають в себе аналіз структури отриманого повідомлення та розкриття змісту, захованого в цій структурі. З цією метою повідомлення у мозку людини порівнюються, зіставляються та комбінуються в інтелектуальному синтезі з готовими схемами. Часто ці послідовні дії виконуються неусвідомлено.

Насамперед зазначмо, що інформація, як фізична величина, має адитивний характер. Це означає, що інформація, яка передається двома повідомленнями, є сумою інформацій, що передаються кожним повідомленням зокрема:

$$I=I_1+I_2. \quad (1)$$

Інтуїтивно є зрозумілим твердження (і можна навести багато прикладів, які його підтверджують), що кількість інформації, яка міститься у повідомленні a , пов'язана з ймовірністю p його отримання:

$$I \propto p(a).$$

1. Початково Цельсій за $100\text{ }^\circ\text{C}$ взяв температуру танення льоду, а за $0\text{ }^\circ\text{C}$ — температуру кипіння води, і тільки згодом його співвітчизник М. Штретер «перевернув» цю шкалу.

2. Зазначмо, що органи людських відчуттів, зокрема зір та слух, «логіфмують» сигнал. На це вказує закон Вебера-Фехнера, згідно з яким відчуття пропорційне до логарифма інтенсивності стимулювання $I:A=k\log I$, коефіцієнт, що залежить від способу побудови шкали. Для шкали гучності звуку у белах $k=1$, у децибелах — $k=10$, а для шкали зоряних величин $k=-2,500$.

Для розкриття характеру функціональної залежності між I та p проаналізуємо отримання повідомлення з рівно ймовірними змістами, так що $p(a)=1/n$. Очевидно, що ступінь невизначеності такого повідомлення визначається числом n : при $n=1$ зміст повідомлення є детермінованим, при $n=2$ можна отримати одне із двох повідомлень, при подальшому зростанні передбачення змісту повідомлення ускладнюється. Отже, шукана функціональна залежність між I та $p(a)$ повинна бути такою, що при $n=1$ $f(1)=0$ і ця функція повинна зростати зі зростанням n : $f(n) > f(m)$ якщо $n > m$.

Для подальшого визначення функції використаємо адитивний характер інформації (1). З цієї властивості однозначно випливає, що за міру інформації, яка переноситься повідомленням із рівно ймовірними можливостями, необхідно вибрати логарифмічну функцію

$$I = -k \log p(a) = -k \log \frac{1}{n} = k \log n,$$

де k – стала, яку приймають рівною одиниці.

Дійсно, оскільки ймовірність отримання двох повідомлень підряд із ймовірностями $p_1(a)$ та $p_2(a)$ рівна їхньому добутку, то принцип адитивності (1) реалізується тільки при логарифмічному виборі функції $f(n)$, який запропонував у 1928 році американський вчений Ральф Гартлі². Зазначмо, що вибір основи логарифма є несуттєвим, оскільки в силу відомого співвідношення

$$\log_b n = \log_a n \log_a b$$

перехід від однієї основи логарифма до іншої зводиться до множення функції на постійний множник, тобто до зміни одиниці вимірювання кількості інформації.

Найчастіше основу логарифмування вибирають рівною двом, тоді одиницею інформації є вибір однієї можливості із двох. Таку одиницю називають двійковою, або бітом (від англійського binary digits). В німецькій літературі використовується інша назва – Ja-Nein Einheit – (одиниця так-ні), яка вдало виражає її суть.

Двійкова система широко використовується, зокрема, у комп'ютерній техніці, оскільки її технічна реалізація є найпростішою.

Якщо використовувати логарифмування при основі десять, то за одиницю інформації приймається зменшення невизначеності, яке обумовлюється одним повідомленням із десяти рівнів ймовірних. Таку одиницю називають десятковою одиницею (скорочено – діт), і

вона є в $\log_2 10 \approx 3,32$ раз меншою від біта. При використанні натуральних логарифмів одиницею інформації є нйт. Співвідношення між різними одиницями міри інформації показано на Рис. 1а.

Найбільш інформативно ємнісною є трійкова система числення, у якій для передачі повідомлення використовується найменше число знаків. Доведемо це. Якщо взяти n знаків, а за основу системи числення прийняти деяке число x , то отримаємо n/x розрядів. Число цифр, які при цьому можна записати, буде рівне $x^{n/x}$ [3]. Функція $y(x) = x^{n/x}$ описує інформативну місткість систем числення x . Значення змінної x , при якому функція досягає максимуму, рівне ірраціональному числу $e = 2,718281828459045\dots$, яке служить основою натуральних логарифмів. З графіка цієї функції видно, що найближчим до числа e є число 3 (Рис. 1б).

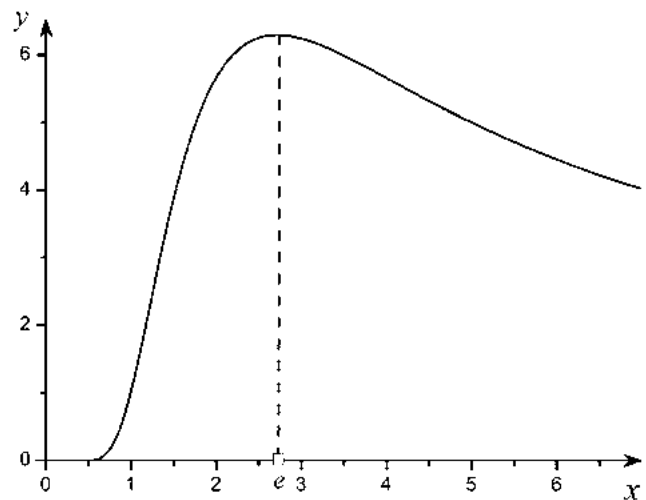
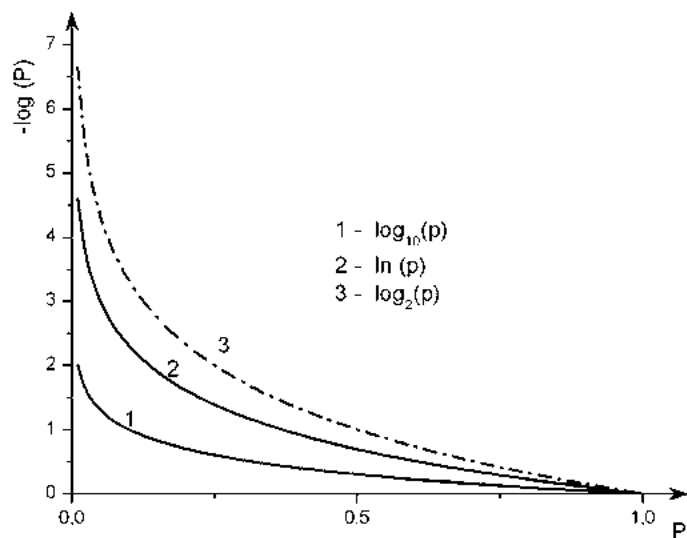


Рис. 1. Залежність величини інформації від вибору основи логарифмування (а) та графік функції $y(x)$ для $n=5$ (б).

У випадку нерівно ймовірних повідомлень американський інженер і математик Клод Шеннон запропонував таку формулу для кількості інформації:

$$I = -\sum_{i=1}^N p_i \log p_i(a),$$

де p_i – ймовірність отримання i -того того повідомлення.

Розгляньмо взаємозв'язок між мірами інформації Гартлі та Шеннона. У випадку N рівно ймовірних повідомлень ймовірність кожного з них рівна

$$p = \frac{1}{N}, \quad i = 1 \dots N,$$

тому зменшення невизначеності за Гартлі є рівним

$$I_i = \log N = -\log \frac{1}{N} = -\log p_i. \quad (3)$$

Будемо вважати, що повідомлення є нерівно ймовірними, а невизначеність, яка зменшується одним конкретним повідомленням, характеризуватимемо подібною величиною $I_i = -\log p_i$. Ця часткова невизначеність є випадковою величиною, яка залежить від того, яке конкретно повідомлення отримано. Усереднивши часткову невизначеність по всіх повідомленнях, отримаємо співвідношення (2). Отже, міра інформації, яку запропонував Шеннон, є узагальненням міри Гартлі на випадок нерівно ймовірних повідомлень.

Коротко проаналізуємо інші міри інформації. Далі буде показано, що наведене вище визначення інформації за Шенноном дуже схоже у математичному сенсі до поняття ентропії, що широко використовується у термодинаміці. Це навело відомого французького фізика Леона Бріллюена на думку, що під інформацією слід розуміти негативний внесок в ентропію (або негентропію), яка визначається різницею логарифмів можливих станів системи до (P_0) та після (P_1) отримання інформації про систему шляхом вимірювання [4]:

$$I = k_B (\ln P_0 - \ln P_1).$$

Близьким до визначення Бріллюена є так-звана Колмогорова-Сіная, яка визначає швидкість зміни інформації системи. Її розраховують за умовною ймовірністю визначити $n+1$ символ повідомлення, якщо відомими є перші n символів $P(n+1|n)$:

$$I = -\langle \ln (P(n+1|n)) \rangle,$$

де дужки $\langle \rangle$ означають усереднення по ансамблю.

Наведені вище визначення інформації можна умовно віднести до ймовірнісних, які розвиваються у ймовірнісній теорії інформації. Інший аспект теорії інформації – алгоритмічний – інтенсивно розвивав О. М. Колмогоров [5]. Він запропонував алгоритмічну міру інформації, яка ґрунтується на алгоритмах перетворення і визначається довжиною програми, яка перетворює об'єкт A на об'єкт B [6]:

$$I = L[G(AB)],$$

де L – функція отримання довжини програми (в бітах чи байтах, 1 байт=8 біт), G – програма перетворення. Таке визначення дає оцінку кількості інформації з точністю до сталої, яка не залежить від об'єктів A і B , а отже, дозволяє розрізнити обчислювальні задачі за складністю. Можливість реалізації алгоритму G та його тривалість у визначенні не обговорюється.

Алгоритмічна міра фактично визначає кількість інформації в окремому об'єкті A щодо іншого об'єкта B , а отже, вона є дуже ефективною для підрахунку генетичної інформації. Дійсно, щоб встановити кількість інформації, необхідної для відтворення певного біологічного об'єкта, неможливо використати ймовірнісний підхід, оскільки у цьому випадку отримуються усі можливі й неможливі комбінації генів з невідомими ймовірностями. Алгоритмічний підхід для розглядуваного випадку є природним, оскільки дає кількість «записів» про спосіб відтворення характерних ознак виду, які визначатимуть відповідну міру інформації.

Існує ще один підхід до визначення міри інформації, який називають семантичним. Вимірювання кількості семантичної інформації можливе тільки для тверджень, що базуються на математичній логіці, і задається виразом [5]:

$$I = \log F(S),$$

де F – функція отримання кількості інформації, що залежить від кількості можливих станів у складових твердженнях S .

Усі наведені вище формули для кількості інформації є близькі за структурою, і мають обмежений характер. Вони не враховують багатьох аспектів зокрема, якості та цінності інформації. Ці та інші аспекти частково обговорюватимуться далі.

Основні означення. Із визначення ймовірнісної кількісної міри випливає, що інформація полягає у виборі одного (або декількох) повідомлень із більшого числа можливих. Вона приносить знання про оточуючий світ, яких не було в абонента до отримання інформації. Інформація не є матеріальною, однак, проявляється у формі матеріальних носіїв – дискретних знаків та (або) сигналів, які є функціями часу, координат тощо. При цьому інформація включена безпосередньо як у знаках, так і у їх взаємному розміщенні.

Знаки та сигнали несуть інформацію тільки у випадку, якщо споживач їх розпізнав та запам'ятав. Під знаками розуміють реальні матеріальні об'єкти, які розрізняє та отримує споживач.

Сигнали – динамічні процеси, тобто процеси, що змінюються у часі. Серед великої кількості динамічних процесів виділяють коливні, параметри яких змінюються з часом періодично. В теорії інформації поняття “знак” та “сигнал” часто розглядають як взаємозамінні. Крім того, іноді під сигналами розуміють довільні впливи, дії тощо, результат яких може приймати скінчене число значень.

Із знаків (або сигналів) утворюються певні послідовності, які називають повідомленнями. При цьому кожен знак зокрема є елементарним повідомленням, а повідомлення та (або) їх послідовності несуть інформацію абоненту.

Розрізняють дискретні та неперервні повідомлення залежно від того, яку послідовність (дискретну чи неперервну) утворюють знаки (сигнали). Повідомлення, які являють собою дискретні послідовності сигналів, називають дискретними. Якщо ж повідомлення є неперервною функцією часу, то його розглядають як неперервне. При цьому неперервність повідомлення не слід ототожнювати із неперервністю функції в аналітичному сенсі: функція, що описує неперервне повідомлення, може містити розриви. Зазначмо, що неперервне повідомлення можна звести до дискретного, а від дискретного – перейти до неперервного. Зараз ці процедури виконують, відповідно, аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) та цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП).

Сукупність усіх знаків, з яких будуються повідомлення, утворюють алфавіт. Як правило, знаки найчастіше використовують для збереження інформації (повідомлень), тоді як сигнали – для передачі інформації з однієї точки простору в іншу. В цьому випадку між

знаками та сигналами повинна існувати однозначна відповідність. Правило, за яким здійснюється зіставлення знаків та сигналів, називають кодом, а сам процес зіставлення – кодуванням. Процес, обернений вибраному кодуванню, називають декодуванням.

Знаки та сигнали, які сформовані у певну послідовність, несуть інформацію про навколишній світ не тому, що вони відображають (повторюють) об'єкти реального світу, а внаслідок суспільної домовленості про однозначний зв'язок між знаками та об'єктами. Наприклад, послідовність знаків "с" "т" "і" "л" утворює слово, з яким однозначно в українській мові асоціюється відповідний предмет, ця ж послідовність знаків для абонента, що не володіє українською мовою, ніякої інформації не несе. Інформацію, яка міститься у послідовності знаків (сигналів) у повідомленні, та її взаємозв'язок з об'єктами матеріального світу називають синтаксичною. Як буде показано далі, існує строго визначена міра такої інформації.

Знаки та сигнали можуть породжуватися також природними явищами. Наприклад, поява електрорушійної сили на виході термопари, кінці якої знаходяться при різній температурі, виникнення електрорушійної сили при обертанні рамки у магнітному полі, свічення тіл при їх опроміненні тощо. Інформація, яка ґрунтується на однозначному зв'язку знаків або сигналів з об'єктами реального світу, називають семантичною або сенсовою. Отримання семантичної інформації є головним у наукових дослідженнях, при розв'язанні багатьох практичних задачах. Сьогодні відсутня ефективна міра семантичної інформації. Дійсно, певна послідовність символів, наприклад,

$$\varepsilon = \alpha \Delta T, \quad \varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt},$$

тощо, несе різну кількість інформації для різних споживачів.

ТЕРМОДИНАМІЧНА ТА ІНФОРМАЦІЙНА ЕНТРОПІЇ

Історичні аспекти. У 1829 році французький вчений Саді Карно сформулював другий закон термодинаміки. Його суть полягає у тому, що довільна, повністю замкнута система прямує до свого найбільш ймовірного стану. Оскільки найбільш ймовірним станом системи є її повний хаос, то відповідно до другого закону термодинаміки всі замкнуті системи з часом руйнуються, дезорганізуються, помирають. Подібну поведінку систем спостерігають у житті, тільки називають його по-різному. У техніці такий процес називають амортизацією, у біології – старінням, у хімії – деструкцією, в соціології – розкладом, в історії – розпадом (наприклад, імперій) [8].

Мірою неупорядкованості системи служить величина, яку називають ентропією [9]. Поняття ентропії у термодинаміку увів німецький вчений Рудольф Клаузіус (1865 р.) як диференціал певної величини, пов'язаної зі станом системи:

$$dS = \frac{dQ}{T},$$

де dQ – кількість теплоти, наданої системі, що перебуває у рівноважному стані при температурі T .

В оборотних процесах інтеграл

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

не залежить від шляху переходу між станами 1 і 2, з чого випливає, що ентропія, аналогічно як і енергія, є функцією стану системи³.

Уведена таким способом ентропія має суттєві недоліки, головний з яких полягає у тому, що визначає її з точністю до константи. Крім того, обрахунок можна виконати тільки для оборотних процесів, для необоротних процесів, як відомо, $\Delta S \geq 0$ [9]. Співвідношення $\Delta S \geq 0$ вказує тільки на напрям протікання процесів і унеможливорює точний обрахунок зміни ентропії. З наведеного вище випливає необхідність іншого визначення ентропії, яке б ґрунтувалося не на феноменологічних, а на молекулярно-кінетичних концепціях, які використовують статистичні уявлення.

Австрійський фізик Людвіг Больцман увів ентропію як логарифм від числа можливих станів w , які може займати система:

$$S = k_B \ln w. \quad (4)$$

3. Відмітимо, що навіть у виборі терміну «ентропія» Р. Клаузіус намагався зблизити його фонетично з терміном «енергія».

Коефіцієнтом пропорційності у цьому співвідношенні є так звана стала Больцмана, числове значення якої є рівним $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Це співвідношення пов'язує ентропію з термодинамічною ймовірністю стану. Зазначмо, що із запропонованого Л. Больцманом співвідношення для ентропії випливає, що зменшення ентропії системи не є абсолютно неможливим, а тільки малоймовірним процесом. Другий принцип термодинаміки свідчить, що для зменшення ентропії необхідно отримати нову інформацію, а отже, провести певні вимірювання, тобто затратити енергію.

У 30-х роках ХХ століття роботи Л. Сцілларда та К. Шеннона обґрунтували, що ентропія є мірою ймовірності інформаційних процесів, і вона лягла в основу теорії інформації [10].

Пізніше в роботах Е. Шредінгера [11] поняття ентропії ще більше розширилося – до розуміння її як міри дезорганізації системи довільної природи. Ця міра змінюється від максимального значення ентропії (коли стан системи є хаотичним, повністю невизначеним) до нульового значення ентропії, який відповідає найвищому рівню організації, порядку системи.

Формула Шеннона. Із співвідношень (3) для міри інформації та (4) для ентропії системи випливає, що ентропія пов'язана із ймовірностями стану системи, а інформація – з отриманням даних про цей стан. Це вказує на існування взаємозв'язку між цими величинами, який встановив Шеннон [15]. Він показав, що інформація в розрахунку на одну букву I_1 повідомлення визначається виразом (2), який через подібність до формули для ентропії системи (4) називають **інформаційною ентропією**.

Із співвідношення (2) можна розрахувати величину I_1 для українського алфавіту, якщо відомі величини p_i – ймовірності появи букв у тексті (включаючи пропуски між словами). У найпростішому випадку однакової частоти появи усіх 32 букв українського алфавіту⁴ $p_i = 1/32$, тому інформація, що переноситься однією буквою, рівна $I_1 = -\log_2(1/32) = 5$ біт.

У випадку нерівно ймовірної появи букв у тексті, використовуючи таблицю частот літер та пропуску між словами в українській мові [12] з формули (2) можна порахувати, що кількість інформації, яка припадає на один символ, становить приблизно 4,52 біти.

4. Насправді в українському алфавіті є 33 букви, однак для зручності обчислення взято число 32.

Таблиця 1.
Частоти літер та пропусків між словами в українській мові.

□	0.134	є	0.043	л	0.028	ч	0.011	ї	0.006
о	0.082	р	0.038	у	0.027	б	0.010	є	0.006
н	0.070	і	0.037	п	0.025	х	0.010	ф	0.005
а	0.070	с	0.036	я	0.021	ц	0.009	ш	0.005
и	0.056	к	0.036	з	0.019	ю	0.009	щ	0.003
т	0.051	м	0.033	ь	0.015	х	0.008	г	0.000
в	0.046	д	0.028	г	0.013	й	0.007		

Таким чином, кількість інформації у повідомленні, що припадає на одну букву, зменшилося від 5 до 4,52 біт, оскільки ми володіємо попередньою інформацією про частоту появи букв. Зазначмо, що саме завдяки неоднаковій частоті появи букв стає можливим стиснення даних у класичних системах передавання інформації, внаслідок чого для передачі повідомлення можна затратити меншу кількість символів.

Зв'язок між інформаційною та термодинамічною ентропіями, тобто зв'язок між інформацією та ентропією задається співвідношенням [1]

$$S = -\frac{K}{\ln 2} \cdot I. \quad (5)$$

З останнього співвідношення видно, що збільшення інформації про систему приводить до зменшення її ентропії і навпаки – відсутність інформації про систему зумовлює зростання її ентропії. Таке твердження є абсолютно зрозумілим для фізичних систем і процесів. Наприклад, при випаровуванні рідини втрачається інформація про положення молекул у певній частині простору (посудині), одночасно зростає ентропія системи.

Із співвідношення (5) отримується ентропійний еквівалент одного біта інформації, який становить $k \ln 2 \approx 10^{23}$ Дж/К. Отже, отримання одного біта інформації приведе до зменшення ентропії системи на цю величину.

Оскільки термодинамічна ентропія є пропорційною до кількості станів системи w , а ймовірність – $p = 1/w$, то інформація та ентропія мають різні знаки. З наведених вище міркувань випливає, що для розглядуваної системи повинен виконуватися закон збереження ентропії та інформації [1]:

$$I + S = \text{const}. \quad (6)$$

Цей закон дає змогу кількісно оцінити такі на перший погляд якісні поняття як «порядок» та «хаос». Інформація та ентропія характеризують реальні систе-

ми саме з позицій впорядкованості та хаосу, причому мірою впорядкованості служить інформація, а мірою безладу – ентропія.

Закон збереження інформації та ентропії (6) має наглядну геометричну інтерпретацію (Рис. 2).

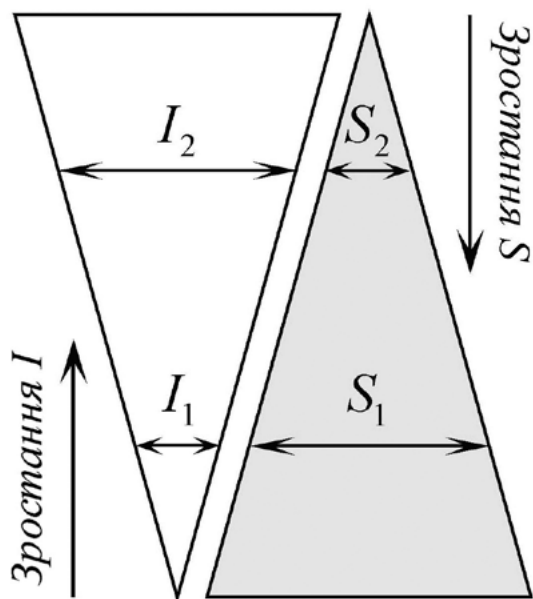


Рис. 2.
Взаємозв'язок між ентропією та інформацією для замкнутої системи: у двох різних станах виконується рівність $I_1 + S_1 = I_2 + S_2$.

Із Рис. 2 видно, що зростання інформації іде «уверх», а тому для реалізації такого процесу необхідно затратити певну енергію. Навпаки, зростання ентропії іде «вниз», тому система самовільно переходить у стан з більшою ентропією. Отже, чим більшою є інформація про систему, тим меншою є її ентропія. Виникає запитання, за рахунок чого це відбувається? В подальшому буде обґрунтовано, що поява інформації в системі є неможливою без зростання ентропії оточуючого систему середовища на величину, не меншу отриманій інформації ΔI .

СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ ЕНТРОПІЄЮ ТА ІНФОРМАЦІЄЮ

Збіг виразів для термодинамічної та інформаційної ентропії обумовило його широке обговорення, в рамках якого висловлювалися найрізноманітніші точки зору та погляди. Природно, що однією з найперших виявилася точка зору, пов'язана із розвитком та поглибленням формальних аналогій між термодинамічними та інформаційними поняттями, і, відповідно, використання методів термодинаміки для розв'язку задач теорії інформації [13].

Розвивався також зворотний вплив, а саме використовували методи та ідеї теорії інформації для розв'язання задач інших галузей науки і техніки, суспільства. В основі такого підходу лежить той факт, що основні поняття теорії інформації визначаються через ймовірності подій, яким можна приписати різноманітний зміст. Підхід до досліджень в інших галузях з позицій теорії інформації називають теоретико-інформаційним, і його застосування дало змогу отримати певні нові результати. Однак часто цей підхід призводив до створення моделей, які неадекватно описували предмет дослідження, особливо при моделюванні суспільних явищ, розумової діяльності людини тощо [10].

Питання про можливість поширення ідей та методів теорії інформації на область фізичних та хімічних процесів сьогодні залишається відкритим. Дійсно, загальноприйнятою є точка зору, згідно з якою всі фізичні взаємодії мають силовий (енергетичний) характер, а їх природні носії (частинки і поля) не кодують та/або передають певні інформаційні повідомлення. Наприклад, взаємодію двох атомів за допомогою фотона не слід розглядати як обмін інформацією між ними, оскільки комунікація завжди реалізується у кодовій формі, якої в електромагнітному полі поки що не виявлено [7]. Попри це, значну частину інформації переносять саме електромагнітні хвилі, які несуть конкретну інформацію про енергетичні стани та будову різних фізичних систем – від атома до галактик. З іншого боку, інформаційні властивості електромагнітних випромінювань (зокрема, світла) використовуються у багатьох фізичних теоріях, у яких відзначається принципова роль світла в передачі інформації спостерігачеві, який порівнює покази вимірних лінійок, годинників, що рухаються один відносно другого тощо.

Ентропія та інформація про мікростани системи. Негентропія. При розгляді співвідношення між ентропією та інформацією виділяють два аспекти. Перший аспект реалізується у випадку, коли отримується інформація про мікроскопічні стани системи, а другий – при отриманні інформації про макроскопічні стани системи. Розглянемо їх докладніше.

У випадку отримання інформації про мікроскопічні стани системи співвідношення між інформацією та ентропією є взаємодоповняльним за означенням: нестача (невизначеність) інформації про мікростани фізичної системи, що є у певному макроскопічному стані, характеризує ентропію цього макростану. З цього твердження випливає, що зменшення невизначеності мікростанів фізичної системи, яка характеризується певними параметрами (наприклад, об'ємом та температурою) приводить до зменшення ентропії, тобто до зростання інформації про мікростани системи.

Аналізуючи це питання, відомий французький фізик Леон Бріллюен, сформулював та обґрунтував так званий негентропійний принцип інформації⁵ [4]. Суть цього принципу полягає у тому, що:

– виникнення інформації ΔI у певній частині замкнутої системи про іншу частину можливе тільки за наявності вихідної негентропії ΔN_0 ;

– ця інформація ΔI в подальшому може знову перетворитися на негентропію ΔN_2 , яка проявиться через упорядкування певної частини (підсистеми) замкнутої системи.

Уточнімо це формулювання. Для протікання довільного інформаційного процесу необхідною є вихідна нерівномірність розподілу ентропії, яку, як зазначалося вище, Л. Бріллюен характеризує як негентропію:

$$\Delta N_0 = -\Delta S = S - S_{\max}$$

і яка описує відхилення системи із стану з максимальною ентропією.

Практичне значення, очевидно, має не початкова негентропія, а енергетична ціна інформації, тобто значення енергії $E=Q$, яку необхідно затратити для досягнення заданого інформаційного ефекту. Тому перший аспект негентропійного принципу доцільно характеризувати збільшенням ентропії навколишнього середовища – термостата – яка визначає “витрати” енергії на створення інформації:

5. Термін «негентропія», або негативна ентропія, ентропія, узятая з від'ємним знаком, увів відомий німецький фізик – теоретик, один із засновників квантової механіки Ервін Шредингер, при обґрунтуванні життєдіяльності організму, і під ним він розумів те, чим організм живиться [11]

$$\Delta S_T = \frac{Q}{T}.$$

Оцінімо витрати енергії, які необхідні для отримання одного біта інформації. Можна показати [15], що, енергетична ціна одного біта інформації визначається співвідношенням

$$\frac{A}{\Delta I} = k_B T \ln 2.$$

Величина $k_B T \ln 2$ виражає мінімальну енергетичну вартість одного біта інформації, яка при $T=300K$ становить приблизно $2 \cdot 10^{-31}$ Дж.

Другий аспект негентропійного принципу характеризує “доходи” енергії, які можуть бути (але не обов'язково будуть!) отримані з інформації: корисний ефект впорядкування у деякій підсистемі й називають негентропійним ефектом $\Delta N = \Delta N_2$. Тоді негентропійний принцип запишеться у виді:

$$\Delta S_T \geq \Delta I \geq \Delta N.$$

Демон Максвелла. При обговоренні зв'язку ентропії з інформацією було встановлено, що найбільш підходящим процесом, який дає змогу простежити фізичні закономірності, що пов'язують ентропію та інформацію, є процес керування, і пов'язаний з ним первинний процес фізичного вимірювання. Зрозуміло, що саме при керуванні і, відповідно, при вимірюванні, вноситься певне впорядкування у систему, що понижує її ентропію. Отже, фактор випадковості, з яким пов'язана ентропія, зумовлює розвпорядкування системи, тоді як фактор керування – до впорядкованості.

Зазначмо, що у повністю детермінованій системі говорити про керування немає сенсу! Немає сенсу говорити про **прийняття** якогось рішення, якщо воно **заздалегідь передбачено**. Щоб керувати – треба мати вибір. Отже, керування діє «протилежно» випадковостям, хоча сама можливість керування «передбачається» саме існуванню випадковостей [14].

Для ефективного керування у системі має існувати зворотний зв'язок, коли частина сигналу з виходу системи подається на її вхід. Це зумовлено тим, що “взаємовідношення” між випадковістю та керуванням мають характер протиставлення: якщо керування діє проти випадковостей, то, відповідно, випадковості в такій самій мірі діють проти керування. З цього випливає,

що у процесі керування необхідно мати відомості про результат керування!

Найпростіша схема процесу керування, яка містить керуючий пристрій (КП), об'єкт керування (ОК) та ланку зворотного зв'язку (Рис. 3).

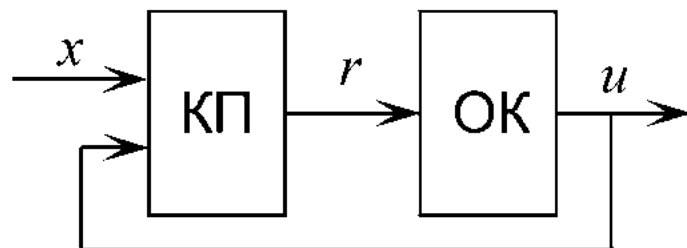


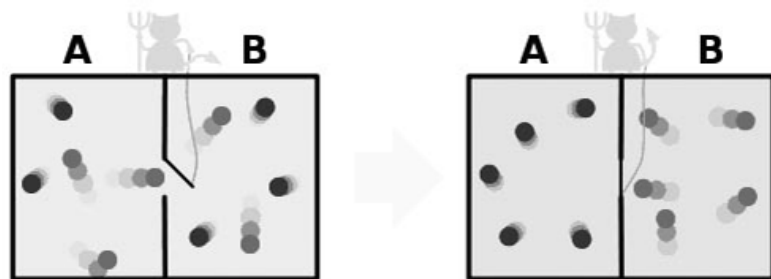
Рис. 3. Найпростіша схема автоматичного керування.

Майже всі роботи, у яких обговорюється зв'язок ентропії з інформацією, розглядають парадокс з демоном Максвелла. Він виник після формулювання другого закону термодинаміки у вигляді неможливості створити нерівність температур чи тисків без затрати роботи. Однак у 1867 році Дж. Максвелл запропонував уявний експеримент, результатом якого буде зменшення ентропії без затрат енергії (інформації). Суть цього парадоксу полягає ось у чому.

Будемо вважати, що існує гіпотетична істота⁶, яка може стежити за рухом кожної молекули. Нехай у посудині є перегородка, яка ділить її на дві частини: А та В (рис. 4). Тоді демон, що бачить окремі молекули, закриває або відкриває отвір у перегородці так, що “швидкі” молекули мають можливість перейти тільки із частини А у частину В, а “повільні” – тільки з В до А (Рис. 4). В результаті таких переходів у частині А посудини будуть тільки “повільні” молекули, а в частині В – “швидкі”.

6. Демоном цю істоту назвав В. Томсон.

Рис. 4. Схематичне зображення демона Максвелла.



7. Зазначимо, що у XX столітті демон Максвелла реалізовано експериментально при створенні молекулярного генератора (мазера) на молекулах аміаку. Добре відомо, що відношення заселеностей рівнів дворівневої системи описується співвідношенням $\frac{N_1}{N_2} = \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right)$ де $\Delta E = E_2 - E_1$ – різниця енергій між рівнями. При достатньо малому і високій температурі число молекул у станах з енергіями E_2 та E_1 , є співмірними, тому при просторовому їх розділенні можна отримати інверсну заселеність. Демоном, який “сортує”, тобто просторово розділяє збуджені та незбуджені молекули, служить неоднорідне електричне поле. Такий спосіб створення інверсної заселеності називають інформаційним. Він принципово відрізняється від енергетичного способу, яким можна створити інверсну заселеність у три-, чи чотирирівневій системі і неможливо реалізувати інверсну заселеність у дворівневій системі. Іншим прикладом реалізації демона Максвелла може служити метод молекулярної динаміки, у якому інтегруються рівняння руху час-

Отже, істота, не виконуючи роботи, зможе підвищити температуру частини В і, відповідно, понизити температуру в частині А, що суперечить другому закону термодинаміки.

Угорський фізик Лео Сциллард, аналізуючи цю проблему, звернув увагу на необхідність отримання демоном інформації про швидкість молекули, яку, як відомо, безплатно отримати неможливо, тому зменшення ентропії системи відбулося за рахунок енергії, яку отримав демон, отримуючи інформацію про швидкості молекул.⁷

Термодинамічний аналіз свідчить, у випадку мікроскопічних станів існує доповняльність кількості інформації та статистичної ентропії. Він реалізується через процес керування (та інші інформаційні процеси, що супроводжують вимірювання), і представляє інтерес тільки для порівняння двох станів однієї і тієї ж термодинамічної системи, а також при аналізі процесу переходу з одного стану в інший. Зокрема, цей процес може приводити до пониження ентропії, а негентропійний ефект, що реалізується неінформаційними способами, може бути доволі значним: для необоротного процесу $\eta \approx 0,5$ і є принципова можливість реалізувати оборотний процес, або як завгодно близько підійти до нього ($\eta \rightarrow 1$) [15]. Іншими словами, на мікроскопічному рівні вся інформація без втрат може витратитися на пониження ентропії системи. Такий висновок узгоджується з квантово-механічною картиною світу, оскільки закони квантової механіки є оборотними.

Співвідношення між ентропією та інформацією: інформація про макростани системи. Зовсім інша картина має місце при аналізі співвідношення між ентропією та інформацією про макроскопічні стани системи і подальшого його використання для реалізації процесу керування інформаційними методами.

Для більш глибокого розкриття суті взаємозв'язку між ентропією та інформацією про макроскопічні стани розгляньмо схематично термодинамічну модель процесу керування та пов'язаного з ним процесу вимірювання (Рис. 3).

Зазвичай у керуючому пристрої виділяють дві підсистеми: вимірний пристрій (ВП) та пристрій керування (ПК). Завдання ВП полягає у вимірюванні певного фізичного параметра l , за значенням якого на його виході формується сигнал x , що поступає на вхід КП. Цей

сигнал у КП перетворюється на інший сигнал r , який поступає на вхід об'єкту керування, у якому він перетворюється на сигнал керування u^8 (Рис. 3).

Вимірвальна величина x та керуюча величина r є внутрішніми параметрами двох систем, а отже, характеризують їх стан. Нехай системи ВП та ПК знаходяться у термостаті при певній температурі T і до процесу перетворення не взаємодіють між собою. Процес перетворення $x \rightarrow r$ полягає в тому, що ці системи переводяться у стан взаємодії, при якому відбувається обмін енергією між ними. Наслідком взаємодії є встановлення такого значення r , яке однозначно відповідає вхідному параметру x . Описаний процес розглядають як елементарну інформаційну взаємодію, а основна задача його термодинамічного аналізу полягає у встановленні залежності ΔS_T від N та визначенні величини ентропійної ефективності η .

Аналіз найпростішої системи керування свідчить, що процес керування складається із двох елементарних інформаційних взаємодій: l в x та x в r , перша з яких відповідає процесу вимірювання, а друга – власне керуванню⁸. В обох випадках для реалізації елементарної інформаційної взаємодії повинен бути певний запас енергії. Для складних систем керування таких інформаційних взаємодій є значно більше, а отже, вони вимагають більших затрат енергії. Аналіз такого процесу свідчить, що його ентропійна ефективність є набагато меншою від одиниці: $\eta \ll 1$ [15].

Отже, на відміну від першого (мікроскопічного) аспекту, всі способи отримання інформації про макроскопічні стани системи та її впорядкування є строго необоротними. Тому, на відміну від мікроскопічної інформації, інформація про макроскопічні стани “оплачується” ентропією нееквівалентно до співвідношення (5): ріст ентропії набагато перевищує кількість отриманої інформації.⁹

ОТРИМАННЯ І СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

Проблема створення, виникнення інформації належить до ключових у сучасній картині світу, і на сьогоднішній час відсутня теорія, яка б з єдиних позицій пояснювала створення, рецепції та запам'ятовування інформації. Найперше, що лежить на поверхні при розгляді цього питання, своєрідна естафета, пов'язана з

тинок, причому ЕОМ “пам'ятає” координати та швидкості кожної частинки, і “використовує” для розрахунку фізичних параметрів системи.

8. У випадку з демоном Максвелла, l – це швидкість молекули, яку вимірює демон, а x – результат вимірювання, тобто сигнал, який перетворюється на інший сигнал r , що керує заслонкою.

9. Дійсно, при киданні монети отримується один біт інформації, однак, виділення ентропії при роботі м'язів, що затрачається на кидання монети, та виділення теплоти при ударі монети об підлогу набагато перевищує величину його ентропійного еквівалента 10^{20} Дж/К, навіть якщо монета мала.

передачею інформації у часі та просторі. Дійсно, сигнал несе певну інформацію тому, що його формування відбувалося за певним алгоритмом, що містив цю інформацію. Своєю чергою цей перший алгоритм створений на основі іншої інформації, закладеної у другому алгоритмі, другий алгоритм – на основі інформації, закладеної у третьому алгоритмі і т. д. Такі міркування неминуче приводять до поняття “первинної інформації”, створення якої можна приписати Богу, пришельцям із Космосу тощо. Розгляд питання у такому ракурсі має філософський аспект.

Проаналізуємо питання створення інформації, ґрунтуючись на її термодинамічному сенсі, глибинному зв'язку з ймовірністю. З попереднього матеріалу випливає, що:

- інформація пов'язана із вибором однієї (або декількох) ситуацій із більшої кількості рівно ймовірних або нерівно ймовірних можливостей;
- інформацією слід вважати тільки той вибір, який можна сприйняти та запам'ятати.

Зазначмо, що сприймається та запам'ятовується тільки макроскопічна інформація, тому за неї необхідно платити не еквівалентною, а значно більшою кількістю ентропії.

Генерація нової інформації. Оскільки інформація пов'язана з вибором, то з цього випливає визначальна роль випадковості у генеруванні нової інформації. Це твердження яскраво проявляється при аналізі великих відкриттів у фізиці та інших природничих дисциплінах. Воно свідчить, зокрема, що не існує детермінованих алгоритмів для реалізації наукових відкриттів, розв'язку нових проблем тощо.

Твердження про визначальну роль випадковостей у генеруванні нової інформації доволі легко можна перевірити та продемонструвати. Зокрема, вибираючи випадково букви алфавіту, можна виписати як завгодно довге “слово”, у якому при уважному аналізі можна зустріти три -, а іноді й чотирибуквені слова. Зрозуміло, що чим більше букв у слові, тим меншою є ймовірність його утворення, але принципово, що ця ймовірність є відмінною від нуля!

Сам факт випадкового виникнення тієї чи іншої інформації не повністю розв'язує розглядувану проблему, оскільки необхідно виділити цю інформацію із значно більшого потоку беззмістовного сигналу. У

наведеному прикладі цей вибір здійснює людина, яка спочатку фіксує випадкові букви, а потім аналізує отримане “слово”.

Можна реалізувати підсилення відбору шляхом врахування частоти появи букв у словах, використанням не окремих букв, а складів, цілих слів, тощо.¹⁰

Згідно з теорією А. Кастлера [19], нова інформація створюється шляхом запам'ятовування випадкового вибору. Створення нової інформації є стрибкоподібним, а не неперервним у часі процесом. Його можна порівняти саме з нерівноважним фазовим переходом, оскільки при рівноважному фазовому переході нова інформація не створюється. Дійсно, при рівноважній кристалізації води нова структура, що утворюється, “не має вибору”, вона “передбачена” законами фізики і є наперед відомою. Нерівноважні фазові переходи (наприклад, кристалізація з розплаву, що приводить до зростання реальних кристалів, тобто кристалів з дефектами), можна трактувати як випадковий процес, при якому створюється нова інформація.

Сприйняття інформації. Сприйняття, або рецепція інформації належить до найбільш важливих проблем інформаційної фізики та інформаційної біології.

Проаналізуймо деякі аспекти сприйняття інформації, ґрунтуючись на її термодинамічному сенсі, а також на життєвому досвіді. Насамперед зазначмо, що процес рецепції інформації є необоротним. Дійсно, оскільки при рецепції отримується нова інформація, то вона оплачується зростанням ентропії, який є необоротним процесом. Тому процес сприйняття інформації є також необоротним. При втраті інформації рецептором вона самовільно не відновлюється, а ентропія навколишнього середовища не зменшується.

Сприйняття інформації супроводжується процесами прямого та зворотного обміну інформацією між джерелом та рецептором, причому ці потоки є зрівноваженими. Існування потоків між елементами системи свідчить про нерівноважність процесу рецепції, а оскільки рецепція інформації означає виникнення певної упорядкованості у підсистемі, що сприймає інформацію, то процес рецепції слід розглядати як такий, що сильно відрізняється від рівноважного стану.

Для рецепції інформації суб'єкт повинен володіти певним рівнем сприйняття, здатністю сприйняти повідомлення та деякою апріорною інформацією. Перера-

10. Цікаво, що такий пристрій був запропонований ще у першій половині XVIII століття, і його описав Дж. Свіфт у знаменитій книзі “Мандри Гулівера”. Описуючи відвідання ним другого відділу Великої Академії в Логадо, де засідали прожектори в області спекулятивних наук, автор звернув увагу на пристрій, по боках якого стояли всі учні. Пристрій складався з квадратної рами зі стержнями, на якій були нанизані кубики. На сторонах кубиків були написані без жодного порядку всі слова їхньої мови у різних відмінках, часах та звертаннях. За командою місцевого професора учні повертали стержні з кубиками, що приводило до появи певних послідовностей слів. У подальшому професор змушував одних учнів повільно читати стрічки слів, що утворилися після повертання стержнів у тому порядку, як вони були розміщені у рамі. Якщо декілька слів утворювали певні фрази, то їх диктували іншим учням, які їх записували. Така дія повторювалася декілька раз, причому машина була влаштована так, що після кожного повороту стержнів слова розміщувалися

інакше після того, як кубики переверталися з однієї сторони на іншу. Те, що вважалося смішним у XVIII столітті, реалізував у 50-х роках XX століття англійський вчений У. Р. Ешбі, який створив кібернетичний пристрій, алгоритм дії якого практично збігався з алгоритмом, що передбачив Д. Свіфт, і назвав його підсилювачем розумових здатностей.

ховані фактори становлять необхідну, але не достатню умову рецепції. Дійсно, якщо людина не володіє, наприклад, мовою (тобто певним рівнем рецепції), то, відповідно, вона не зможе вивчити вірша, написаного незнайомою для неї мовою. Однак у певний час людина не хоче вивчити вірша, написаного її рідною мовою! Це значить, що для сприйняття інформації повинен реалізуватися **момент цілі**.

Наявність цілі у людини означає певну її нестійкість, а досягнення цілі можна трактувати як перехід з менш стійкого у більш стійкий стан. З цього випливає, що рецепція інформації являє собою незворотний не рівноважний перехід дисипативної системи із менш стійкого у більш стійкий стан. Такий процес є можливим тільки завдяки відтоку ентропії із рецепторної системи.

Рецепція інформації еквівалентна її запам'ятовуванню на більш чи менш тривалий час, тому рецепція та запам'ятовування інформації є нероздільними. Сприймається та запам'ятовується тільки макроскопічна інформація, тому, як впливає із попереднього матеріалу, за неї необхідно платити не еквівалентною, а значно більшою кількістю ентропії.

Цінність інформації. Зрозумілим є факт, що інформаційне повідомлення має певний сенс, зміст, тобто являє собою ту чи іншу цінність для рецептора. Поняття цінності інформації слід розглядати тільки у сукупності із її споживачем. В теорії інформації Шеннона це поняття ігнорується, оскільки при розрахунку пропускної здатності каналу зв'язку немає необхідності брати до уваги зміст повідомлень, а тільки кількість біт інформації, що передається.

На відміну від кількості інформації, що виражається формулою Шеннона, цінність інформації не може бути виражена універсальним поняттям. Крім того, поняття цінності інформації не може бути визначено незалежно від її рецептора, оскільки цінність повідомлення можна встановити тільки за наступними діями особи, що отримала інформацію. Тому цінність інформації визначають як збільшення ймовірності досягнення певної цілі після отримання інформації [19]:

$$V = \log_2 \frac{p'}{p}, \quad (7)$$

де p і p' – ймовірності досягнення цілі до та після отримання інформації.

Оскільки цінність інформації проявляється в результатах рецепції, то вона безпосередньо пов'язана з рівнем рецепції. Це твердження добре ілюструється таким прикладом. Поставмо запитання: яка цінність інформації, закладеної у довільному підручнику? Природно виникає наступне запитання – для кого? Для дітей дошкільного віку цінність інформації, що міститься у цьому підручнику, є майже нульовою, оскільки вони не володіють достатнім рівнем рецепції для сприйняття відповідної інформації. Нульовою є також цінність цієї інформації для професора, оскільки весь матеріал, викладений у книзі, добре знає. Очевидно, максимальною цінною ця інформація є для тих учнів (чи студентів), для яких ця книга призначена. З цього прикладу випливає, що цінність інформації залежить від попереднього запасу інформації її споживачів – тезауруса, – а у цій залежності спостерігається максимум (Рис. 5).

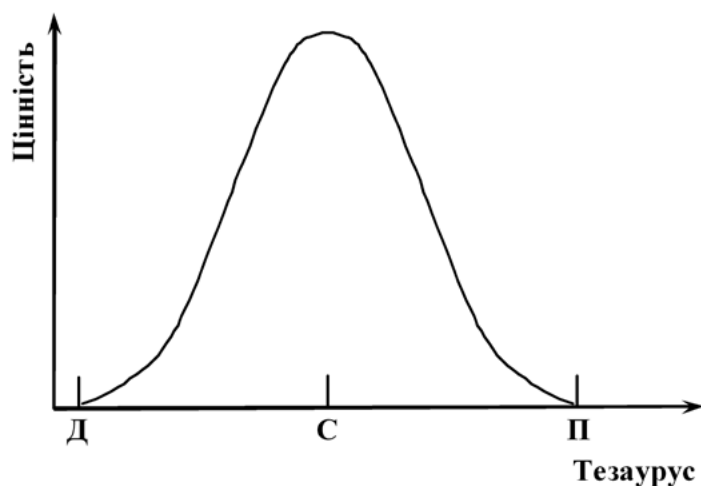


Рис. 5.
Залежність цінності інформації від тезауруса: Д – дошкільнята, С – студенти, П – професори

Із співвідношення (7) випливає, що надлишкова, повторна інформація володіє нульовою цінністю, оскільки вона не змінює ймовірності досягнення цілі. Цінність інформації може бути від'ємною, якщо отримана інформація є неправдивою, тобто дезінформацією, яка зменшує ймовірність досягнення цілі.

Ґрунтуючись на факті, що надлишкова інформація володіє нульовою цінністю, можна визначити цінність інформації як ступінь її ненадлишковості, або ступінь незамінності повідомлення та/або його окремого елемента – кодового знака. Не вдаючись у деталі визначення, зазначмо, що такий підхід до цінності інформації є корисним при розгляді біологічних процесів,

при аналізі інформаційних аспектів художнього слова, творчості.

Існують випадки, коли цінність інформації (тобто наслідки отримання інформації) є незрівнянно великою порівняно з її кількістю. Їх називають тригерними ситуаціями, вони часто трапляються у біологічних системах і в їх основі лежить виявлення значної попередньої інформації [17].

СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ ІНФОРМАЦІЄЮ ТА ЕНТРОПІЄЮ: СУСПІЛЬНИЙ АСПЕКТ

Соціальна ентропія. Вище зазначалося, що ентропія, як фізична величина, проявляється у багатьох явищах та процесах. В останні роки в соціальних, політичних та філософських науках використовується поняття соціальної ентропії. Під соціальною ентропією розуміють міру відхилення соціальної системи або її окремих складових від нормального, еталонного стану [16]. Ознаками соціальної ентропії вважають зниження рівня організації системи, ефективності функціонування, темпів розвитку, невизначеність, помилки в керуванні, недостатнє використання знань тощо [16]. Таке поняття застосовують як до суспільства загалом, так і до окремого індивіда. На відміну від ентропії у фізиці, соціальна ентропія є не формально-математичною, а змістовною категорією. Вона визначається за допомогою експертного аналізу, структурно-функціонального підходу тощо, і пов'язана з невизначеністю у стані середовища, діяльності людей, управлінськими похибками, помилками планування, недостатнім використанням знань (інформації) у процесах організації тощо, і проявляється в розбуханні управлінських структур, зростанні бюрократизму, великих потоках документів, громіздких узгодженнях, чисельних зборах та засіданнях тощо. [16]. Іншими словами, соціальна ентропія – це нагромадження, які гальмують розвиток системи, відхиляють її від оптимального стану і заводять у кризовий стан.

Проаналізуємо причини зростання суспільної ентропії, ґрунтуючись на законі збереження інформації та ентропії $S+I=\text{const}$ ¹¹.

Із закону збереження інформації та ентропії випливає, що зростання ентропії зумовлене відсутністю правдивої інформації. До того ж, ця "інформація", яка

11. Висловлю думку, що Господь Бог дав людям цей закон під час його Нагірної проповіді через Заповіді Блаженства, які доповнюють Десять заповідей Божих, і які увійшли в Євангеліє від Маттея та Луки: «Блаженні голодні і спражені правди, бо вони нагородовані будуть». Ключовими словами для подальшого аналізу будуть слова «спражені правди».

є у суспільстві, насправді – дезінформація, (по народному – брехня), тобто інформацією з від’ємним знаком. Тому поширення такої інформації не зменшуватиме, а навпаки – збільшуватиме ентропію суспільства, що призводить до підвищення “соціальної температури”.

Обґрунтуймо висловлене твердження. Природа людей є такою, що мотиви їх діяльності пов’язані насамперед із матеріальними потребами, благами. Дійсно, щоб “бути” – треба спочатку “мати” умови для життя: воду, їжу, житло, одяг тощо. Тому забезпечення матеріальної сторони існування людей – природна річ доти, доки вона не стає абсолютною ціллю. Джерелом суспільного багатства, як відомо, є праця, тому завдання влади усіх рівнів полягає у забезпеченні справедливих матеріальних і морально-етичних принципів її організації та розподілу матеріальних благ.

Відповідно, мотиви політичної діяльності мають такий самий характер – отримання матеріальних благ. На жаль, зараз в Україні склалася ситуація, коли Президент, урядовці, міністри, депутати усіх рівнів йдуть у владу тільки заради власного збагачення. Образно кажучи, в Україні діє формула “гроші – влада – ще більші гроші”. Дійсно, маючи гроші можна прийти до влади, а будучи при владі – “заробити” (тобто украсти) ще більші гроші.

Ця формула чинна не тільки для України, але і для будь-якої іншої держави. Просто в теперішній Україні вона виражена найбільш чітко і набула гіпертрофованих норм. З наведеного випливають такі висновки. Передусім, для зменшення соціальної ентропії необхідно відділити бізнес від влади. З формальної точки зору в усіх цивілізованих, демократичних країнах бізнес дійсно відділений від влади. Однак це неправда, тому відповідне твердження насправді є дезінформацією, яка збільшує суспільну ентропію.¹²

Другий висновок, який випливає з матеріальних мотивів політичної діяльності це те, що усі політики, м’яко кажучи, не говорять усїєї правди виборцям, на роду.¹³

Проаналізуймо із позицій закону збереження інформації та ентропії ще одну норму демократичного суспільства – “свободу слова”. Насамперед виникає питання: свобода для якого слова, тобто для якої інформації? Якщо інформація (слово) є правдивою, то її оприлюднення дійсно приводитиме до зменшення ентропії суспільства. У протилежному випадку – матиме-

12. Зазначимо, що навіть у демократичних суспільствах декларуються норми, які не є абсолютно правдивими, наприклад, “спорт поза політикою”, “Церква відділена від держави” та ін., що зумовлює зростання суспільної ентропії.

13. Справді, кожен із нас може проаналізувати, що рекламують політики (партії) до виборів та їхні реальні дії після виборів.

мо зворотний ефект: свобода для брехливого, підлого, неправдивого слова збільшуватиме соціальну ентропію. Підтвердженням цього можуть служити однойменні програми на каналах українського телебачення, після перегляду яких сильно підвищується соціальна температура. Зазначмо, що свідомо чи ні, дискусія на таких передачах ведеться у рамках бінарної логіки, яка принципово не дає змоги встановити істини [17].

Взаємозв’язок між ентропією та інформацією, що виражається співвідношенням (5), дає можливість формально оцінити ентропійний еквівалент інформації, яка міститься у певному повідомленні, художньому творі, поезії тощо. Оскільки ентропійний еквівалент одного біта інформації становить 10^{-20} Дж/К, то безпосереднє застосування формули (5) свідчить, що пониження ентропії є незначним. Наприклад, у книзі, обсягом 25 друкованих аркушів, міститься приблизно $5 \cdot 10^6$ біт інформації, а пониження ентропії, зумовлене цією інформацією, становить тільки $5 \cdot 10^{-17}$ Дж/К. Цей приклад показує, що наведена оцінка ентропії не є коректною, а надбання людської культури не можна вимірювати в ентропійних одиницях.

Очевидно, існує більш глибокий зв’язок між ентропією та інформацією у суспільстві, і для його розкриття звернімося до аналогії, пов’язаної із взаємозв’язком маси та енергії. Всім добре відоме співвідношення

$$m = \frac{1}{c^2} E ,$$

яке стверджує, що маса є пропорційною до енергії, але нічого не говорить про те, як і при яких умовах маса перетворюється на енергію, зокрема, корисну енергію. Коефіцієнт пропорційності між масою та енергією $1/c^2 \approx 10^{17} \text{ c}^2/\text{m}^2$ є також малою величиною, однак, всім добре відомо, що незначна маса за певних умов перетворюється на величезну кількість енергії. Ядерна фізика точно вказує умови, при яких реалізується перетворення маси на енергію: воно реалізується тільки на ядерному рівні організації матерії, та відсутнє на інших (атомному, молекулярному, біологічному) рівнях.

За аналогією вважатимемо, що співвідношення (5) також стверджує пропорційність між інформацією та ентропією суспільства, але нічого не говорить про умови перетворення інформації на ентропію (або соціальну енергію) суспільства. Логічно припустити також, що це перетворення реалізується тільки при певних умо-

вах, які на сучасному етапі розвитку науки є поки що невідомими.

Механізм перетворення Слова (інформації) на дію розкрив Т. Шевченко у вірші:

*Ну що б, здавалося, слова...
Слова та голос — більш нічого.
А серце б'ється-ожива,
Як їх почує!.. Знать, од Бога
І голос той, і ті слова...*

Цими словами Т. Шевченко прямо вказує, що Господь Бог дає, передусім, митцям (поетам, композиторам, художникам та ін.) “таланти”, які дають змогу цим людям через Слово (поезії, картини, музичні твори та ін.) творити дії, що суттєво впливають на духовне життя суспільства. Треба тільки правильно скористатися ними! Подібну думку висловив також І. Франко, коли стверджував: “Якби Ти знав, як много важить слово...”

Ніхто не заперечуватиме великий вплив Слова (інформації) на духовну сферу життя суспільства. Можна навести багато прикладів з історії кожного народу, нації, коли Слово спонукало до дій усе суспільство, піднімало його на боротьбу проти поневолювачів, за свої права тощо.¹⁴

Відомими також є факти, коли відсутність повної інформації про ту чи іншу подію у суспільстві привело до суттєвого підвищення “соціальної температури”, яку також можна вважати мірою безладу (ентропії) суспільства. І навпаки, оприлюднення всієї, правдивої інформації завжди приводить у кінцевому випадку до зменшення безладу в суспільстві, його консолідації.¹⁵

Розглянутий аспект стосується співвідношення інформації та макроскопічної соціальної ентропії суспільства. Можна виділити також інший аспект: про співвідношення інформації та ентропії для кожного члена суспільства – мікроскопічний аспект. У цьому випадку, як і у випадку фізичних систем, інформація та ентропія (духовний спокій) є взаємодоповнювальні: приховування інформації призводить до збільшення ентропії людини, і навпаки: оприлюднення інформації, якою б гіркою вона не була, завжди приводить до душевного спокою людини.

Для зменшення ентропії людини служить, зокрема, таїнство Сповіді, що існує у християнському світі. Подібну роль виконують психологи у світському житті.

14. Це яскраво сформулював поет В. Шефнер: “Словом можна убить, словом можна спасти, словом можна полки за собою повести...”. Згадайте хоча б “Сатанинські вірші” С. Рушіді, які сколихнули весь мусульманський (і не тільки!) світ, або те збурення в українському суспільстві, що спричинило оприлюднення так званих плівок Мельниченка: саме відсутність правдивої інформації про походження плівок робить їх спекулятивним матеріалом, який використовують політики для досягнення своїх цілей.

15. Добре було б, як би цю тезу розуміли політики та дотримувалися її!

Кожному з нас, мабуть, відомо, що після щирої розмови з товаришем, ріднею, батьками та ін. стає легше на душі.

Розгляньмо ще один аспект, який впливає із закону збереження інформації та ентропії $S+I=\text{const}$: чи можливий стан системи (людини, суспільства), у якому ентропія є рівною нулеві? Дійсно, досягнення такого стану означає наявність **усієї інформації** про систему. При цьому виключаються усякі випадковості, система стає повністю детермінованою, а отже, поведінку в майбутньому (аналогічно як і у минулому) можна абсолютно точно передбачити, чи прорахувати. Як наслідок, отримуємо Лапласівський детермінізм. (Мені здається, що такого стану досягти неможливо у принципі: стан з $S=0$ (або з усією інформацією про систему) є Божественним, до нього можна прямувати й наближатися, бути як завгодно близьким до нього, але принципово досягнути неможливо.)

Інше обґрунтування цього твердження можна дати “з боку ентропії”. Кожну людину можна розглядати як складову макроскопічної системи – суспільства. На макроскопічному рівні суспільство описується певними принципами (параметрами), які регламентують взаємовідносини між членами суспільства, різними групами тощо. У найзагальнішому випадку для християнського світу цими принципами можуть служити Божі Заповіді. Додатково кожна держава встановлює та приймає свої, більш конкретні норми та правила у вигляді конституції, законів, підзаконних актів тощо, які точніше регламентують поведінку суспільства загалом, певних його груп та індивідів.

Існує важливий фундаментальний принцип, який властивий усім системам із великою кількістю частинок – флуктуації. З цього впливає, що довільний параметр, яким описується суспільство (ріст, вага, політичні уподобання, розумові здібності тощо), описується певним розподілом.

Розгляньмо для визначеності політичні уподобання. Їхній розподіл у сучасній політичній термінології описується широким спектром від крайніх лівих (більшовизм) до крайніх правих (фашизм) поглядів (Рис. 6, крива 1).

Демократичне суспільство пропонує суспільству принципи, які тільки обмежують екстремістські прояви з обох політичних флангів (пунктирна крива на рис.), а фашистські (крива 2) та більшовицькі (крива 3) режими нав'язують суспільству стандарти, зсунуті

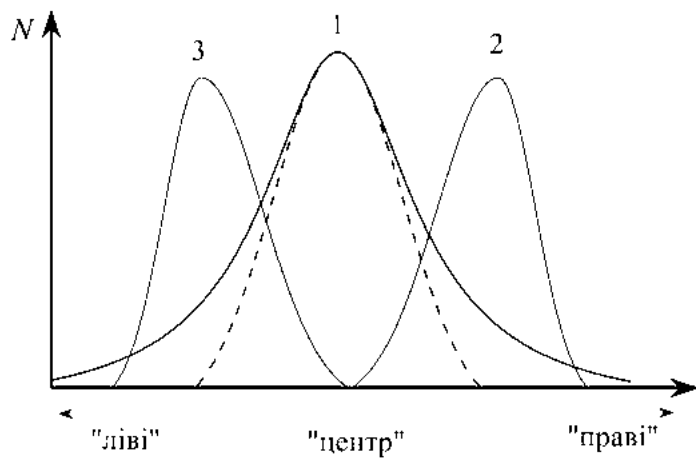


Рис. 6. Схематичне зображення розподілу людей за політичними вподобаннями (крива 1), принципи демократичного (пунктирна крива), фашистського (крива 2) та більшовицького режимів (крива 3).

від максимуму природного розподілу. Зазначмо, що спектр цих принципів сильно відрізняється від природного, властивого нормальним людям, тому обидва режими повинні володіти певним апаратом (гестапо, КГБ тощо), для підтримки суспільства у стаціонарному (але не рівноважному!) стані. Така невідповідність породжує існування в таких суспільствах феномену “кухонних патріотів”, подвійної моралі, розходження слова з ділом, боязнь говорити правду, лукавство, тощо.

Ці та інші природні обмеження (наприклад, гомосексуалізм) породжуватимуть у суспільстві невдоволення певних верст населення, що “забезпечуватиме” відмінність від нуля суспільної ентропії. Цьому сприятимуть також певні суспільні норми, які не є справедливими (розділення влади та бізнесу, спорт поза політикою, свобода слова, незалежність судової гілки влади тощо) та інші закони, соціальні вчинки різних верст населення, які тією чи іншою мірою провокують безлад у суспільстві.

Аналогічно, для окремого індивіда: нема, не було і не буде людини, яка б говорила **всю правду**. Згадайте слова Ісуса Христа до людей, які хотіли покарати дружину, що зрадила своєму чоловікові: “Хто з вас без гріха, нехай перший кине камінь”.

Найповніше обґрунтування цього факту можна знайти у статті В. Базилевського [18]. Він пише, що всю правду про себе людина боїться усвідомити навіть на самоті, тому що вона незручна, а то й паралізуюча. Речник абсолютної правди мав би постати голим перед вовками з ризиком бути розтерзаним. Тому є межі правди, а самообмеження правдою відбувається на

інерційному рівні, а отже, безболісно. За людину проявляє її досвід, який і привчає її до дозованої брехні. Дозована брехня – норма повсякдення, якої люди не усвідомлюють і не замислюються над нею [18].

Висловлені міркування про взаємозв'язок і роль інформації та ентропії у суспільному житті мають якісний характер, оскільки кількісно не означено поняття макроскопічної та мікроскопічної ентропій суспільства і людини відповідно. Деякі із тверджень стосуються радше віри, а не науки. Попри це, взаємозв'язок інформації із суспільною ентропією та суспільною енергією, духовним станом кожної людини є незаперечним, і його слід враховувати і в політиці, і у повсякденному житті суспільства та окремого індивіда.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кадомцев Б. Б. Динамика и информация // *Успехи Физических Наук.* – 1994. – Т. 164. – № 5. – С. 449–530.
2. Новосядлий Б. С. *Історія часу: від кванта часу до віку Всесвіту.* Міждисциплінарний семінар «Обрії науки». Український католицький університет.
3. Фомин С. В. *Системы счисления.* Москва : Наука, 1980. – 48 с.
4. Бриллюэн Л. *Научная неопределенность и информация.* – Москва : Мир, 1966. – 272 с.
5. Колмогоров А. Н. *Три подхода к определению понятия “Количество информации”* // *Математика, кибернетика. Новое в жизни, науке и технике.* Москва, 1991.
6. Партико З. В. *Образна концепція теорії інформації.* Львів : Видав. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2001. – 133 с.
7. Немчинов Ю. В. *Физическая семиотика.* Физика. *Новое в жизни, науке и технике.* – Москва, 1991. – 64 с.
8. Растринин Л. А. *Этот случайный, случайный, случайный мир.* – Москва : Молодая гвардия, 1974. – 208 с.
9. Шамбадаль П. *Развитие и приложения понятия энтропия.* – Москва : Наука, 1967. – 278 с.
10. Винер Н. *Кибернетика, или управление и связь в животном и машине.* – Москва : Советское радио, 1958. – 216 с.
11. Шредингер Э. *Что такое жизнь с точки зрения физики?* – Москва : Мир, 1972. – 127 с.

12. Вербіцький О. В. Вступ до криптології. – Львів : Вид-во науково-технічної літератури, 1998. – 248 с.
13. Поплавский Р. П. Термодинамика информационных процессов. – Москва : Наука, 1981. – 256 с.
14. Тарасов Л. В. Мир, построенный на вероятности. – Москва : Просвещение, 1984. – 191 с.
15. Волькенштейн М. В. Энтропия и информация. – Москва : Наука, 1986. – 192 с.
16. Соціологічна енциклопедія. – Київ : Академвидання. – 445 с.
17. Иваницкий Г. Р. XXI век: что такое жизнь с точки зрения физика // Успехи Физических Наук. – 2010. – Т. 180 – № 4. – С.337–414.
18. Базилевський В. Гумова сорочка брехні // Літературна Україна – №48 (5477). – 13 груд. 2012 р.
19. Стратонович Р. Л. Теория информации. Москва : Советское радио, 1975. – 424 с.

МАТЕМАТИКА І СОЦІУМ

Михайло Зарічний

*Львівський національний університет
імені Івана Франка*

ВСТУП

Без перебільшення можна сказати, що систематизація відомих попереднім цивілізаціям розрізнених геометричних та арифметичних фактів, аксіоматизація і побудова дедуктивної теорії, що її здійснили греки понад два тисячоліття тому, започаткувала нову добу в історії людства. Греки спочатку застосовували математику лише до астрономії і тієї частини механіки, яку тепер називають статикою. Виникнення числення нескінченно малих у XVI і XVII столітті значно розширило сферу застосувань математики; її почали використовувати також і до опису динамічних явищ. Небачений розквіт фізики став можливим лише завдяки належно розвиненій математиці. Своєю чергою фізичні задачі часто вимагали створення нового математичного апарату. Таку взаємодію математики і фізики спостерігаємо досі.

У XX столітті математику застосували до біології (більш загально, у науках про життя). Можна стверджувати, що багато в чому завдяки математиці сучасна біологія перетворилася з дескриптивної науки на науку з розвиненою теоретичною базою.

Математичне моделювання вже давно проникло у ті сфери, де раніше воно здавалося апріорно неможливим. До таких належить, зокрема, психологія, соціологія, політологія, лінгвістика, економіка й інші науки про людину та соціум.

Хтозна, чи передові досягнення математичної науки перебувають у полі зацікавлень хоча б якоїсь більшої частини суспільства. Гіпотеза, що складність життя, з надміром всеможливої різномірної інформації, будитиме зацікавлення до математики як до науки, що відіграє об'єднувальну роль для інших, принаймні стислих і природничих, наук, виявилася хибною. На шпальти газет та екрани телевізорів теми, пов'язані з математикою, потрапляють надто рідко. Нещодавно розв'язок гіпотези Пуанкаре все ж привернув увагу громадськості, проте, здається, людям просто ста-

ло цікаво, за що ж пропонують мільйон доларів, а ще цікаво, чи візьме математик, який розв'язав цю гіпотезу (Григорій Перельман), пропонування мільйон, чи ні...

А ще про математику згадали в часи фінансової кризи, поклавши чималу частку відповідальності за неї на математичні моделі.

Зауважмо, що сучасна математика стала досить таки масовою професією. Її розвивають у всьому світі сотні тисяч людей.

Мета цієї невеликої статті – дати читачеві уявлення про взаємозв'язки між математикою і соціумом на прикладах математичних моделей у науках, що описують ті чи ті аспекти діяльності суспільства. Багатство і складність математичного інструментарію, задіяного у процес математизації, дає змогу зупинитися – і то не надто докладно – лише на окремих прикладах.

Математика, можливо, більше, ніж яка інша наука, є незбагненим соціальним феноменом: її творять індивідуальності, проте розвиток математики в історичній шкалі нагадує діяльність єдиного могутнього інтелекту, якому під силу приймати складні виклики, що їх приносить дослідження навколишнього матеріального світу та людського суспільства. Це наголошує на важливості «соціальної компоненти» в математичній науці, а також, безперечно, стосується теми, сформульованої у заголовку – «математика і соціум». Взагалі, якщо зважати на всі можливі сюжети, куди можна тему розвивати, то треба зізнатися, що у цій невеликій публікації ми від сили здатні заторкнути лише сполучник «і» в заголовку, а може, лише крапку над цим «і».

МАТЕМАТИКА ЧИСТА І ПРИКЛАДНА

Суспільство платить вченим за їхню працю і має право знати, за що ж воно платить. Ні в кого нема сумніву, що існування теперішньої цивілізації без математичних досягнень неможливе. Однак математику умовно поділяють на чисту та прикладну, і однією зі спокус для суспільства є розвивання, з метою економії коштів, насамперед прикладної математики – ця частина математики, на перший погляд, значно важливіша.

Із критикою переорієнтації математики на прикладні дослідження нещодавно виступав один із найбільших математиків сучасності Володимир Арнольд. Він зазначив, що поділ науки на чисту і прикладну є насправді

умовністю – відмінність між чистим і прикладним математиком полягає лише у тих задачах, які математик розв'язує. Услід за Луї Пастером учений стверджував: нема ніяких прикладних наук, а є лише науки і їх застосування. До того ж, на науки суспільство витрачає не так уже й багато коштів. Особливо це стосується математики: хтось із математиків підрахував, що річні витрати Радянського Союзу на математику становили лише невелику частину вартості одного танка.

Драматична ситуація склалася тепер і в Україні, де одним із наслідків надмірної бюрократизації освіти й неодмінної плутанини є те, що прикладну математику винесли за межі фізико-математичних наук – вона входить до системних наук та інформатики. Бакалаври математики позбавлені змоги вступати на магістерські програми з прикладної математики. Різке контрастування зі світовими тенденціями, звичайно, приведе до того, що цю останню норму таки скасують, однак, окремі від математичних, факультети прикладної математики все ж є реальністю наших університетів.

І тут виникає також запитання: а якої математики треба навчати? Побутує думка, що у школі не потрібно доводити теореми, адже вони не знадобляться людині більше у житті (мова не йде, звичайно, про тих, хто стане професійними математиками). Звідси й заклики вчити дітей одразу того, що вони зможуть використати у своїй майбутній діяльності. У різних державах ці освітні ідеї тією чи тією мірою втілені в освітню політику. Тут знову процитуємо В. Арнольда, який стверджує, що «свідоме, творче у кожній діяльності настільки близьке до доведення теорем, що нема кращого способу виховати його, ніж розв'язуванням математичних задач, і доведенням теорем також». Учні треба навчати аналізувати проблеми, приймати рішення, робити якісні передбачення у тому, чим вони займаються. Питання змісту математичної освіти тісно пов'язані з економічною могутністю і навіть обороноздатністю країн, і тому вони є предметом серйозного розгляду не лише вчених, а й політичних діячів.

Якщо людство перестане вивчати математику в належному обсязі, то наслідки цього стануть драматичними, зокрема, значно зросте ймовірність великих техногенних катастроф. Однак математики не донесли цієї тези до всіх на тому рівні серйозності, на якому, наприклад, комп'ютерники залякали нас «проблемою 2000 року».

МАТЕМАТИЧНА ЕКОНОМІКА

Одне з найважливіших зіткнень математики із соціумом відбувається через економічну науку. Двадцять століття стало розквітом математичної економіки. Запроваджену 1968 року Нобелівську премію з економіки дедалі частіше одержують вчені, які працюють саме в математичній економіці. Кількість економічних статей, де не використовують геометричних об'єктів чи алгебраїчних позначень, за сто років зменшилась у кільканадцять разів і сьогодні становить приблизно п'ять відсотків усіх публікацій.

Така ситуація в економіці стала предметом методологічного аналізу з боку відомих філософів науки. Зокрема математичну економіку звинувачували в надмірній відірваності від життя, тавтологічності. Вона нібито перестала покладатися на економічні аргументи, а лише на формальні математичні доведення і спростування гіпотез. Критики, серед яких, зокрема, Дж. Кейнс, стверджували, що значна частина математичної економіки – це вигадки, настільки ж неточні, наскільки неточні початкові припущення математичних теорій.

Захисники ж математичної економіки, серед яких всесвітньо відомий вчений Пол Самюельсон, вважають, що математичний апарат незамінний для описання фундаментальних проблем. Говорячи про мікроекономіку, П. Самюельсон наголошував, що небагато людей здатні зрозуміти деякі її тонкі моменти без математики, натомість мова математики відчиняє двері для розуміння багатьом людям.

Серед математиків, які одержали Нобелівську премію з економіки, був і відомий математик – академік Леонід Канторович. Варто тут згадати, що свого часу економісти вигнали Л. Канторовича з Ленінградського університету, оскільки він цитував Вільфрідо Парето – останнього задовго по його смерті горезвісний Муссоліні оголосив найвидатнішим італійським математиком.

Важливі застосування одержали математичні методи в теорії ринкової рівноваги. Обмежмося економікою обміну, оскільки вже на її прикладі можна зрозуміти, як тут працює математика. Учасники економіки приходять на ринок зі своїми товарами, які вони можуть продати за ціною, що на цьому ринку встановилася, а натомість купити за виторговані гроші інші, корисніші для них товари. Ціна називається рівноважною, якщо

при такій ціні попит дорівнює пропозиції. Одним з основних досягнень теорії ринкової рівноваги є теорема існування: **ринкова ціна існує!** Ця теорема рівноваги – математичне обґрунтування тези про «невидиму руку ринку» Адама Сміта.

Математичним інструментом доведення є теореми про нерухому точку. У двовимірному випадку теорема про нерухому точку стверджує, що для довільного неперервного перетворення квадрата на себе існує точка у квадраті, що не змінює свого положення при цьому перетворенні (нерухома точка). Вперше таку теорему довів голландський математик Лейтзен Егберт Ян Брауер приблизно сто років тому. Для потреб математичної економіки теорему про нерухому точку довелося дещо модифікувати й довести її для випадку багатозначних відображень. Це зробив на замовлення економістів Сідзуо Какутані.

Варто завважити одну особливість одержаного результату: він дає лише факт існування нерухомої точки і – як наслідок – ціни рівноваги. Але він не дає жодних рецептів, як цю точку/ціну знайти. Теорему існування критикують прикладні математики: «У лісі є гриб, у річці є риба – але як того гриба знайти, а ту рибу спіймати?». Однак не можна заперечити того, що якщо у якійсь математичній моделі не вдається довести теореми існування, то стосовно цієї моделі негайно виникає запитання про її адекватність до ситуації, яку вона описує.

Допитливий читач може тут сформулювати природне запитання: Як факт існування нерухомої точки стосується неперервних перетворень квадрата до існування ціни рівноваги? Чи абстрактні механізми, які відповідають за існування нерухомої точки перетворень, ті ж самі, що дають змогу встановити ринкову рівноважну ціну? Такі запитання досить часто виникають, коли говоримо про ефективність математичних методів. Очевидно, на них не існує простої відповіді: те, що уявний світ, створений абстрактними міркуваннями вченого-математика, адекватно описує світ реальний, є однією із найбільших загадок філософії науки.

Довівши теорему існування ціни ринкової рівноваги, дослідники спрямували свої зусилля на ефективні пошуки такої ціни і методів її запровадження. Тут застосовувалися комбінаторні методи, а також методи глобального аналізу (аналізу на многовидах).

Значущими є також філософські висновки, на які наводить теорія економічної рівноваги. Існування рів-

новаги свідчить, що система егоїстично мотивованих індивідуумів з раціональною поведінкою еволюціонує не до безладу, а до рівноважного положення. Об'єктом дослідження вчених є тепер єдиність положення рівноваги (або скінченність числа таких положень), його гіпотетична неперервна залежність від початкових умов, а також стабільність (останнє означає, що малі коливання системи не можуть вивести її з положення рівноваги).

Деякі економісти, які працюють у теорії ринкової рівноваги, порівнюють ситуацію в економіці з ситуацією в теоретичній фізиці, у якій існують природні обмеження на можливість ставити експерименти і щораз більша роль відводиться математичним міркуванням. Це може служити аргументом на користь теорії рівноваги і високої активності математичних економістів, які працюють у цій тематиці.

ТЕОРІЯ ІГОР

Звернімось до теорії ігор – науки, що однаково близька і до математики, і до економіки. Теорія ігор вивчає боротьбу індивідуумів за досягнення своїх інтересів. Крім економіки, методи теорії ігор застосовують у соціології, психології і, як ми побачимо далі, політології.

У теорії ігор теж існує поняття рівноваги. Його запровадив американський математик й економіст Джон Неш. За свої дослідження в теорії ігор Неш був удостоєний Нобелівської премії з економіки. Непросту історію життя цього видатного математика й економіста описує художній фільм «Ігри розуму».

Вибір стратегій учасниками гри називається рівновагою Неша, якщо жоден з учасників не може збільшити свою виплату, односторонньо змінивши у цьому виборі свою стратегію. Хоча нескладні приклади свідчать, що рівновага Неша не завжди оптимальна для її гравців, все ж досягнення рівноваги знижує гостроту конфлікту й тому може мати широкі застосування у реальному житті. Зазначмо, що фахівці з теорії ігор консультували політиків, котрі виробляли стратегію ядерного стримування.

Один із важливих результатів теорії ігор – це теорема про існування рівноваги Неша у змішаних стратегіях. Доведення існування рівноваги Неша у змішаних

стратегіях, знову ж таки, опирається на версію теореми про нерухому точку.

Рівновага Неша дає змогу пояснити низку соціальних феноменів. Особливо це стосується ігор з великою кількістю учасників. Насправді, той факт, що багато в чому ми орієнтуємося у своїй поведінці на інших людей, досить часто пояснюється саме тим, що соціальна поведінка реалізує стан рівноваги. Перехід від одного стану рівноваги до іншого, отже, не може відбуватися на індивідуальній основі, а вимагає одночасного переходу значної частини суспільства.

ПОЛІТОЛОГІЯ

Історію застосувань математики в політології можна вести від кінця XVIII століття, коли зароджувалася репрезентативна демократія, і члени французької академії Жан-Шарль де Борда та маркіз де Кондорсе запропонували математично обґрунтовані методи демократичних способів обрання кандидатів. Далі ми зупинимось на деяких проблемах, що стосуються теорії голосування та теорії соціального вибору.

У ситуації, коли кожен член суспільства вибирає із двох кандидатів, нема жодних проблем. Виборці голосують: хтось вище оцінює першого кандидата, а хтось другого. Котрий із кандидатів набере більше, той і переможець (якщо соціум достатньо великий, то ймовірність, що два кандидати будуть оцінені однаково, така мала, що нею можна знехтувати).

Що ж відбувається, коли кандидатів більше? Вже тоді був відкритий знаменитий “парадокс Кондорсе”. Нехай маємо трьох кандидатів, *a*, *b* і *c*, і преференції суспільства, що виявилось розділене на три приблизно однакові за чисельністю групи, стосовно цих кандидатів, зібрані в таблицю, виглядають так:

<i>a</i>	<i>c</i>	<i>b</i>
<i>b</i>	<i>a</i>	<i>c</i>
<i>c</i>	<i>b</i>	<i>a</i>

(кожен стовпчик репрезентує якусь групу; якщо у стовпчику кандидат *x* вище, ніж кандидат *y*, то вважається, що *x* кращий, ніж *y* для всієї відповідної групи).

Хто ж повинен стати переможцем цих виборів? Аналіз свідчить, що ним не може бути кандидат *a*, оскільки дві

треті суспільства (другий і третій стовпчики) ставлять с вище, ніж *a*. Аналогічні міркування показують, що кандидатів *b* і *c* також не можна вважати переможцями.

Парадокс Кондорсе неодноразово перевідкривався (одним із тих, хто писав про нього, був математик Чарльз Доджсон, більше відомий як письменник під псевдонімом Льюїс Керол) і в середині ХХ століття став предметом інтенсивних досліджень. Мабуть, найвідомішим досягненням у цьому напрямі є результат, що значно узагальнює ситуацію, модельовану парадоксом Кондорсе, а саме, теорема Ероу про неможливість. Вона стверджує, що в ситуації, коли кандидатів три або більше, провести демократичний вибір неможливо. Насправді Ероу доводить, що тоді соціальний вибір – це вибір одного члена суспільства (диктатора). Цей результат зумовив активну реакцію в академічних колах і був чи не основною причиною присудження Кенетові Ероу Нобелівської премії з економіки (принагідно зауважмо, що Ероу – один із творців згаданої вище теорії ринкової рівноваги). Теорему Ероу іноді порівнюють із теоремою Геделя про неповноту. До того ж, деякі аргументи, що лягли в основу її доведення (доступного для розуміння, до речі, навіть старшокласникові), містяться у ранніх працях Геделя.

Коли ж можливий вибір? Один із важливих випадків одержуємо тоді, коли всі учасники процесу, кандидати і виборці, розміщені на одновимірній шкалі (коли йдеться про політику, то прикладом може служити шкала «лівий-правий»). Кожен із виборців голосує за того з кандидатів, котрий ближче до його позиції на шкалі. У цьому випадку нескладно показати, що при голосуванні не виникає чогось схожого на парадокс Кондорсе. При попарному змаганні кандидатів вони в результаті вишикуються так, як їх упорядкував «середній» виборець. Порівнюючи це зі згаданою вище теоремою Ероу, видно математичне обґрунтування «диктатури середини», яку художньо осмислив Вільям Тен у своєму оповіданні «Нульовий потенціал».

У часи відкриття парадоксу Кондорсе вчені звернули увагу на так зване явище маніпульовності. Воно полягає в тому, що коли кандидатів троє, або більше, і відома система виборів, то ця система маніпульовна в тому сенсі, що деякі виборці можуть одержати для себе перевагу, подавши неправильну інформацію про своє рангування кандидатів. Один із відносно недавніх результатів – теорема Гіббарда-Сатертвейта – чимось

схожа на теорему Ероу: вона стверджує, що якщо кандидатів не менше трьох, то єдиною неманіпульовною системою виборів є диктаторська система.

Звичайно, і теорему Ероу, і теорему Гіббарда-Сатертвейта не можна трактувати як заперечення демократії у реальному житті. Їхній зміст у тому, що демократія не може зводитися лише до математичних маніпуляцій, а передбачає діалог і пошуки взаєморозуміння між різними частинами суспільства. Деякі автори стверджують, що в теоремі Ероу раціональність протиставляється справедливості, і апелюють до того, що людська поведінка не завжди передбачувана й раціональна.

МАТЕМАТИКА І МИСТЕЦТВО

Математичні мотиви є в мистецтві ще з давніх часів. На золотий переріз можна натрапити у пропорціях Парфенону, Платонових тілах та «Елементах» Евкліда. І відтоді його широко використовують в архітектурі, дизайні, живописі, музиці та літературі. Піфагорійці досліджували математичні основи гармонії у музиці. Добре темперований клавір, що прийшов на заміну Піфагорійському строеві, опирався на рівномірний поділ музичної шкали. Сучасна музична теорія тісно пов'язана з теорією множин та абстрактною алгеброю (теорією груп).

Комбінаторна література або література формальних обмежень виникла зі спроб застосувати комбінаторні методи (перестановки, комбінації, інверсії, виділення, повторення тощо) до творення художніх текстів. Чи не найвідомішими представниками комбінаторної літератури є французька група УЛПО (аббревіатура від французької назви «Майстерня потенційної літератури»), що намагалися вивести свою творчість у магістраль літературного процесу. Сучасна комбінаторна література розвивається у різних напрямках. Зокрема цікавими є експерименти з так званими паліндромами, тобто текстами, що читаються однаково справа наліво і зліва направо. Таким способом можна писати навіть достатньо довгі твори. Український поет Іван Лучук написав рекордний (для української мови) паліндромний твір «Епос і нині сопе». Довжина цього твору – 3 333 знаки – паліндромне число.

Останні десятиліття породили нові жанри. Серед них – фрактальне (образотворче) мистецтво. Нагадай-

мо, що фракталами називають геометричні об'єкти, вимір яких набуває дробових значень. Фрактальне мистецтво зародилося у 1980-х роках. Це форма комп'ютерного мистецтва, що полягає у візуалізації певних математичних об'єктів, пов'язаних з ітерованими системами функцій, дивними атракторами динамічних систем та ін. Твори фрактального живопису сьогодні досить часто демонструють у музеях сучасного мистецтва. Елементи фрактальної геометрії трапляються також в архітектурі та дизайні.

Фрактальне мистецтво – частина так званого алгоритмічного мистецтва, тобто мистецтва, ґрунтованого на використанні комп'ютерних алгоритмів.

Нарешті завважмо, що універсально вартісне поняття симетрії має виразно математичне походження і водночас лежить в основі гармонії у різних жанрах мистецтва.

Взаємозв'язки математики й мистецтва виявляються і в зустрічному русі, коли в математичних конструкціях і доведеннях шукається естетична компонента, й досить часто ця компонента відіграє важливу роль в оцінюванні математичного результату. На цю тему є багато літератури.

ТЕОРІЯ КАТАСТРОФ

На початку 1970-х років особливу увагу за межами математики одержала так звана «теорія катастроф», яку створив американський математик Гаслер Вігні та французький математик Рене Том. Із математичної точки зору ця теорія зводилася до теорії особливостей диференційованих (гладких) відображень. Вона спочатку здавалася революційною, порівняно з попередніми математичними теоріями, що давали змогу будувати математичні моделі неперервних процесів.

Теорія катастроф від початку свого зародження претендувала на універсальність, адже диференційовані відображення трапляються повсюди, а тому всюди є і їхні особливості. Незабаром теорію катастроф почали застосовувати до геометричної оптики, гідродинаміки, стійкості кораблів, медицини і біології, а також до лінгвістики, соціології, психології та моделювання діяльності мозку. Критики цієї теорії вважають її застосування правомірним не у всіх ситуаціях – там, де йдеться про «тонкі матерії», на зразок опису поведінки

соціальних груп чи навіть нервових хвороб, то існування гладких відображень, які правильно, адекватно описують ситуацію, не завжди є науково достовірним фактом.

Теорія катастроф – це зразок наукової теорії, для поширення якої її творці й апологети вдавалися до методів масової реклами. Математичні книги з основ теорії видавали мільйонними накладами. Критичні статті противників теорії лише підсилювали ажіотаж. На щастя, сьогодні вже не спостерігається надмірного інтересу до теорії катастроф та її застосувань, хоча багато цікавих проблем у ній ще не розв'язані.

ЕПІЛОГ

Ми торкнулися лише деяких питань, що стосуються багатогранних співвідношень математики й соціуму. За межами нашого розгляду залишилося багато цікавих тем. Подаємо деяку літературу, до якої може звертатися зацікавлений читач.

ЛІТЕРАТУРА

1. Taylor A., Pacelli A. M. *Mathematics and Politics. Strategy, Voting, Power, and Proof*. 2nd ed. – Springer, 2009. – XVI. – 364 p.
2. Taylor A. D. *Social choice and the mathematics of manipulation*. – New York : Cambridge University Press, 2005.
3. Зарічний М. *Елементи Теорії соціального вибору*. – Львів : ЛМГО “Інститут політичних технологій” : ЛНУ ім. Івана Франка, 2001. – 160 с.
4. Mas-Colell A. *The Future of General Equilibrium // Spanish Economic Review*. – 1999. – V. 1. – No. 3. – P. 207–214.
5. Зарічний М. М. *Паліндроми // У світі математики*. – 2008. – № 1. – С. 68–73.
6. Постон Т., Стюарт І. *Теория катастроф и её приложения*. – М. : Мир, 1980.
7. Арнольд В. И. *Теория катастроф*. – М. : Наука, 1990. – 128 с.
8. Том Р. *Топология и лингвистика // УМН*. – 1975. – Т. 30. – Вып. 1 (181). – С. 199–221.

ПРОБЛЕМИ ЖИТТЯ І СМЕРТІ НА КЛІТИННОМУ І МОЛЕКУЛЯРНОМУ РІВНЯХ

Ростислав Стойка

Інститут біології клітини НАН України, м. Львів

ВСТУП

Ще донедавна дослідження механізмів відмирання клітин організму не привертало значної уваги дослідників, оскільки їх розглядали лише як наслідок випадкового пошкодження, або “старіння”. Вчені-біологи спостерігали масову загибель клітин під час розвитку багатоклітинних організмів. Однак раніше вони не ставили перед собою запитання про пускові механізми цього процесу, у якому гинуть не лише старі чи пошкоджені клітини, але й “молоді” клітини із високим потенціалом до розмноження чи диференціювання [3].

У нашій статті розглянуто головні вияви відмирання на різних рівнях організації живої матерії – і на рівні клітин органів та тканин організму, і на рівні клітинних макромолекул, насамперед білків (основа побудови тіла клітин) і ДНК (головний носій генетичної інформації). Основну увагу зацентровано на ролі структурного руйнування біомакромолекул, а також на змінах у функціонуванні складових клітини – органел. Ми свідомо не порушували питань, пов’язаних зі смертю цілісного організму, зокрема людини, що є найвищою формою існування живої матерії. Смерть людини – набагато складніша проблема і її розв’язують не лише на біомедичному рівні, вона заторкає також юридичні, етичні, теологічні й інші аспекти, і тому має бути об’єктом спеціального аналізу.

Вважають, що питання, пов’язані зі смертністю, виникають лише в багатоклітинних організмів, в яких, з одного боку, повинна бути відносно стабільною загальна кількість клітин, з яких побудоване тіло дорослого організму, а, з іншого боку, повинно відбуватися відмирання пошкоджених клітин (передусім у зв’язку зі змінами у їхньому генетичному апараті), щоб у майбутньому ті не призвели до появи патологічних (потенційно злоякісних) клітин. За нормального забезпечення поживними речовинами й інших умов існування, одноклітинні мікроорганізми є безсмертними. Тому смерть можна вважати своєрідною розплатою за ускладнення

рівня організації живої матерії у природі. Виникнення генетично змінених клітин-монстрів може відбуватися і спонтанно, зокрема через випадкові порушення у роботі генетичного апарату клітини, і внаслідок дії негативних (мутагенних) чинників навколишнього середовища. Мутагенним також може бути проникнення у генетичний апарат клітини вірусів, які виявляють певні ознаки живої матерії (насамперед здатність до самовідтворення) лише під час їхнього перебування у клітині, тоді як поза нею віруси поведуться, як неживі макромолекули.

Який би рівень відмирання живої матерії ми не розглядали, головні події цього процесу відбуваються саме у клітині, що є елементарною одиницею живої матерії. Сьогодні на Землі невідомі інші форми організації живої матерії, крім клітинної форми, і нові клітини можуть виникати лише через поділ клітин-попередників. У нашій статті розглянуто головні ознаки генетично запрограмованого і патологічного відмирання живих організмів та їхніх тканин і на клітинному, і на молекулярному рівнях, схарактеризовано чинники, які сприяють і які перешкоджають запрограмованому відмиранню клітин, а також визначено біологічну роль такого відмирання, яке ще називають апоптозом.

ГОЛОВНІ ОЗНАКИ ВІДМИРАННЯ НА РІЗНИХ РІВНЯХ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОЇ МАТЕРІЇ

Нобелівську премію за 2002 рік у галузі фізіології і медицини було присуджено за відкриття, яке, як було визначено, стосується «генетичної регуляції розвитку органів та запрограмованого відмирання клітин». Його авторами були Сідней Бреннер (Велика Британія), Роберт Горвіц (США) і Джон Салстон (Велика Британія). У своїх роботах вони показали, що багатоклітинні організми, включно із людиною, мають гени, білкові продукти яких здатні прискорювати відмирання клітин, а також гени, білкові продукти яких гальмують цей процес (цит. за [4]). Цікаво зазначити, що згадані вчені проводили свої дослідження не на клітинах тканин і органів людини і навіть не на клітинах великих лабораторних тварин. Основним об'єктом їхніх дослідів був мікроскопічний черв'як-нематода (*Caenorhabditis elegans*). Його тіло складається усього з 1 090 клітин, з яких рівно 131 клітина гине під час розвитку цього

організму. Важливо, що в тілі нематоди завжди гинуть ті ж самі клітини. Спочатку гине 113 із 628 клітин, які утворилися протягом ембріонального розвитку цього організму (в ембріогенезі людини також гине багато клітин, наприклад, клітини перетинки між майбутніми пальцями кінцівок. На стадії личинки нематоди гине частина її нейронів (у людини перед народженням також відмирає значна кількість нервових клітин). Врешті-решт у дорослої тварини гине приблизно 50 % усіх ооцитів (у жіночому організмі людини гине 99,999 % цих статевих клітин, які потенційно можуть бути запліднені сперматозоїдами) (цит. за [1, 8]).

Інтенсивні генетичні дослідження, що провели не лише згадані Нобелівські лауреати, але й інші вчені, дали змогу ідентифікувати понад 20 генів, білкові продукти яких беруть участь у регуляції процесів запрограмованого відмирання клітин, причому усі ці гени мають своїх структурно-функціональних гомологів у людини. Отже, генетична регуляція розмноження і відмирання клітин такого високоорганізованого і складного організму, як людина, тіло якої побудоване приблизно із 10^{14} різноманітних клітин, принципово не відрізняється від генетичної регуляції цих біологічних процесів у мікроскопічного черв'яка-нематоди, тіло якого складається приблизно із 1 000 клітин. Можна лише дивуватися, наскільки економною є природа, яка один раз створивши свій унікальний продукт (ген і його продукт – білок), потім його використовує, із незначними змінами, в інших, набагато складніших організмах.

Клітини тканин й органів тварин та людини можуть відмирати і генетично запрограмованим шляхом (апоптоз – самознищення клітини та автофагія – самоперетравлення клітини), і непередбачуваним патологічним шляхом, який називають некрозом клітини (цит. за [4]). Узагальнюючи дані щодо фенотипових ознак запрограмованої загибелі клітин, можна означити два головні сценарії, за якими відбувається самознищення клітин (Рис. 1). Під час апоптозу відбувається конденсація внутрішньоклітинних структур, активація нелізосомних протеолітичних ензимів-каспаз і фрагментація клітини без залучення лізосомних ензимів до цих цитодеструктивних процесів. Водночас автофагія (автофагоцитоз) супроводжується руйнуванням (перетравленням) найважливіших внутрішньоклітинних складників, насамперед білків, за участю ензимів, що містяться у лізосомах і автофагосомах [9].

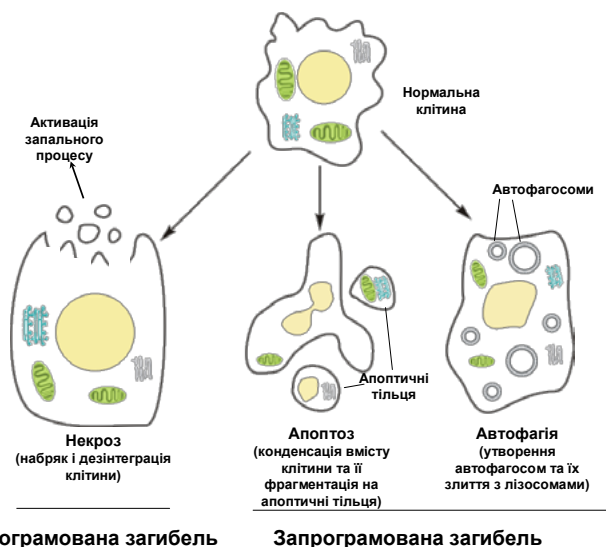


Рис. 1. Різні типи відмирання клітин тварин і людини – некроз, апоптоз, автофагія.

В аналізі, який ми провели, головну увагу звернено на **роль апоптозу** під час відмирання клітин тканин і органів. Це зумовлено не лише кращою вивченістю цього процесу, а також його значенням під час дії на організм екстремальних чинників різної природи. Досліджено зміни в апоптичних клітинах і на морфологічному рівні, і на рівні біохімічних процесів, що відбуваються у різних частинах клітин-мішеней, зокрема у плазматичній мембрані (поверхня клітини), мітохондріях (органели, які забезпечують клітину енергією), цитоплазмі (місце, де відбувається більшість внутрішньоклітинних біохімічних реакцій) і ядрі, де міститься ДНК – носій генетичної інформації клітини. Крім того, лавиноподібно зростає кількість досліджень, присвячених з'ясуванню ролі апоптозу під час виникнення і при лікуванні багатьох важких захворювань людини, передусім раку, оскільки більшість протипухлинних препаратів діють саме шляхом індукції апоптозу злоякісних клітин.

Найхарактерніші морфологічні зміни у клітинах під час апоптозу – це конденсація (ущільнення) ядра і цитоплазми, агрегація хроматину, а також фрагментація клітини з утворенням покритих цілісною плазматичною мембраною везикул (апоптичні тільця), які, крім цитоплазми, можуть містити частини ядра, мітохондрії, рибосоми та інші субклітинні структури. У тканинах організму такі апоптичні тільця досить важко виявити, оскільки вони швидко піддаються фагоцитозу

(поглинанню) макрофагами (спеціальні клітини імунної системи) і розташованими поблизу епітеліальними клітинами. Важливо зазначити, що видалення апоптичних клітин і тілець в організмі не супроводжується запальним процесом, який трапляється під час некротичного відмирання клітин (цит. за [4]).

Автофагія – це самоперетравлення вмісту клітини, насамперед її цитоплазми. Цей процес починається із відокремлення частини цитоплазми від її основної частини у вакуолі (автофагосоми), оточених мембраною. Ці вакуолі можуть зливатися між собою, або з лізосомами, де й відбувається перетравлення вмісту клітини спеціальними гідролітичними ензимами. Таке «самопоїдання» власних тканин і за умов його надмірного зростання, і за умов його аномального послаблення, призводить до серйозних захворювань (цит. за [9]).

Клітинний некроз переважно супроводжується пошкодженням цілісності плазматичної мембрани клітини. Це призводить до порушення здатності клітини зберігати свій іонний гомеостаз і, внаслідок цього виникає набряк мітохондрій і клітини загалом та її руйнування (лізис або розпад) (Рис. 1). В організмі некротичне відмирання клітин призводить до значних пошкоджень тканини, що спричиняє активний запальний процес у місці некрозу. Отже, якщо апоптичні клітини, як правило, гинуть поодинокі, то некротичні клітини гинуть масово. Клітинний некроз вважають патологічним процесом, оскільки він відбувається під час дії таких екстремальних чинників, як гіпоксія, гіпертермія, токсини, деякі віруси тощо (цит. за [4]).

На відміну від некрозу, відмирання клітин шляхом апоптозу відбувається також за фізіологічних умов, причому клітини активно сприяють своїй загибелі («самогубство» клітин). Наприклад, інтенсивний апоптоз стається під час розвитку ембріонів у різних організмів, при формуванні та функціонуванні імунної та нервової систем, атрофії (втраті) частини деяких тканин (наприклад, молочної залози), зумовленої фізіологічними гормональними змінами в організмі, а також при підтриманні гомеостазу (кількісного складу) клітин у тканинах дорослого організму та під час деяких інших фізіологічних процесів.

Біохімічні процеси, які відбуваються у клітині під час апоптозу й некрозу, вимагають різних витрат енергії. Якщо перші не можливі без додаткового енергетичного забезпечення, то другі майже не потребують

енергії і тому можуть розвиватися навіть за низької температури (4°C).

Дослідження ДНК ядра некротичних клітин за допомогою електрофорезу свідчить про численні розриви цієї ДНК у випадкових місцях внаслідок її розщеплення різними нуклеазами. Тому на електрофореграмі ДНК некротичної клітини виглядає як велика розмита пляма, що містить фрагменти нуклеїнової кислоти різної довжини. Водночас руйнування ДНК при апоптозі переважно відбувається досить упорядковано і призводить до утворення фрагментів, довжина яких кратна довжині однієї нуклеосоми (структурно-функціональна ділянка ДНК, яка складається із 180–200 пар нуклеотидів).

Один із основних механізмів, які забезпечують руйнування складових клітини під час апоптозу, – це активація протеаз (ензими, які розщеплюють білки й належать до родини каспаз). Зрозуміло, активація певних протеаз відбувається і під час некротичного відмирання клітин, проте «некротичні» та «апоптичні» протеази є різними. Варто зазначити, що «апоптичні» протеази (каспази) діють за каскадним принципом, тобто одна каспаза є субстратом для розщеплення іншою каспазою, яка слугує субстратом ще іншій каспазі тощо. Така каскадність у дії ензимів дає змогу краще регулювати їхню активність різними чинниками і за різних умов. Кінцевими субстратами дії каспаз є різні внутрішньоклітинні білки, які регулюють життєво важливі функції, наприклад, ензим PARP-1, який відновлює (репарує) структуру частково пошкодженої ДНК (цит. за [4]).

Як зазначено вище, щоб забезпечити протікання процесів апоптичного відмирання клітин, потрібно затратити енергію, яка у клітинах переважно генерується у спеціальних органелах – мітохондріях. Однак, оскільки під час апоптозу мітохондрії також зазнають незворотних змін, це призводить до того, що вони втрачають енергогенерувальну функцію. Такі зміни насамперед відбуваються у мітохондріальній мембрані, внаслідок чого втрачається трансмембранний потенціал, необхідний для електрохімічного генерування енергії мітохондріями.

Апоптичне відмирання клітин, на відміну від їх некрозу, відбувається не лише при патологічних процесах, а також у нормальних тканинах. Найвідоміші приклади апоптозу за нормальних умов розвитку тварин

може бути втрата тканин хвоста в пуголовка під час його метаморфозу до дорослої жаби, а також зникнення тканинних перегинок між пальцями під час формування кінцівок в ембріогенезі ссавців (цит. за [4]). У дорослих особин ссавців апоптоз відбувається і у тканинах із повільним розмноженням клітин (епітелій проток печінки, простати й наднирників), і у тканинах, клітини яких швидко оновлюються (епітелій ворсинок кишківника, клітини крові, сперматогонії, що піддаються диференціюванню). Апоптична загибель клітин відбувається при дегенерації волосяних фолікулів (облісіння) зі старінням організму, а також під час зменшення розмірів матки після закінчення вагітності чи розмірів молочної залози після закінчення годування молоком (лактації) (цит. за [1, 7]). Апоптоз відіграє важливу роль у функціонуванні імунної системи. Яскравим прикладом тут може бути усунення автореактивних Т-клітин у тимусі та селекція В-клітин у лімфоїдних фолікулах. За допомогою апоптозу із крові видаляються «старі» нейтрофільні лейкоцити і мегакаріоцити, які втратили більшість своєї цитоплазми під час утворення тромбоцитів (цит. за [4]).

Варто зазначити, що апоптоз, на відміну від некрозу, є імунологічно інертним процесом, який не спричиняє запальної реакції. В іншому випадку, в організмі спостерігався би хронічний запальний процес, оскільки шляхом апоптозу одночасно гине величезна кількість клітин (у людини вона становить мільярди клітин за добу (цит. за [4])).

ЧИННИКИ, ЯКІ СПРИЯЮТЬ ЗАПРОГРАМОВАНОМУ ВІДМИРАННЮ КЛІТИН

Розвиток апоптозу (надалі ми будемо використовувати саме цей термін замість терміна «запрограмоване відмирання клітин») можна умовно поділити на кілька стадій – прийняття рішення, ініціація, прогресія і деструкція, які можуть відбуватися лише в названій послідовності, оскільки кожна попередня стадія апоптозу створює передумови для настання його наступної стадії. Зрозуміло, спочатку клітина повинна «прийняти рішення» – як їй далі розвиватися, рости, чи пригальмувати активні процеси життєдіяльності, ділитися на дві дочірні клітини, чи зачекати з цим, продовжити жити, чи відмирати.

Коротко розгляньмо процес прийняття клітиною рішення – жити чи гинути. Передумовами до нього може бути дія і внутрішньоклітинних, і зовнішньоклітинних чинників. Зокрема причинами для вступу клітини на шлях самогубства (апоптозу) можуть бути: 1) спонтанні внутрішньоклітинні деструктивні процеси (мутації у генах, продукти яких сприяють чи запобігають відмиранню клітини, порушення, зумовлені «старінням» клітини і «зношуванням» деяких її життєво важливих структур, раптова активація вірусів, які містилися у геномі клітини в латентному (неактивному) стані); 2) дія чинників, які перебувають у позаклітинному середовищі, чи потрапляють туди й діють на клітину-мішень різними способами.

Проапоптичні чинники можуть впливати на клітину через специфічні рецептори на її поверхні (певні цитокіни, гормони, антитіла), чи безпосередньо, проникаючи через плазматичну мембрану всередину клітини (перекисно-радикальні сполуки та деякі інші цитотоксичні чинники) і змінюючи при цьому функціонування різних внутрішньоклітинних структур (органел чи біомакромолекул). Яким би не був проапоптичний чинник, сигнал про його дію на клітину повинен надійти до певного гена чи групи генів, білкові продукти яких задіяні у процесах, які призводять до загибелі клітини. Щоб такий ген (гени) запрацював (тобто почав зчитуватися в інформаційну РНК, яка містить повідомлення про структуру білка з певними функціями), на регуляторну ділянку гена повинен подіяти певний білок, який називають транскрипційним фактором. Функціонування кожного гена контролює один чи кілька транскрипційних факторів, які здатні взаємодіяти з його регуляторною ділянкою, активуючи таким чином роботу (транскрипцію) гена.

Як уже зазначалося вище, клітина – досить економна структура і її просте знищення не завжди вигідне організмові. Тому у клітини є низка захисних механізмів, які перешкоджають її деструкції. Вони здатні запобігати дії цитодеструктивних чинників і на генетичному рівні, і на рівні різних біомакромолекул. Білок p53, названий так за масу своєї молекули – 53 тисячі Дальтон, локалізований у клітинному ядрі й виконує одну із головних ролей у молекулярних механізмах захисту генетичного апарату клітини. Цей білок ще називають «охоронцем геному», бо він здатний «відстежувати» пошкодження у структурі ДНК і приймати деякі запобіжні заходи [8].

Якщо це пошкодження – незначне і піддається відновленню (репарація ДНК), тоді білок p53 забезпечує зупинку/зупиняє клітинний цикл (строго визначену послідовність внутрішньоклітинних процесів між двома поділами клітини), щоб дати можливість спеціальним ферментам відновити структуру пошкодженої ДНК. Однак, коли пошкодження ДНК – масивне і не сумісне з подальшим збереженням сталості клітинного геному, тоді білок p53 урухомлює процеси саморуйнування клітини (апоптоз). Важливо зазначити, що за допомогою такого механізму нормальна клітина уникає її можливого перетворення на злоякісну, пухлинну клітину. До речі, у геномі вірусів міститься інформація про структуру білків, які, на відміну від білка p53, перешкоджають апоптозу (цит. за [4]). Це дуже важливо, бо апоптоз інфікованої вірусом клітини забезпечує руйнування не лише ДНК цієї клітини, а й знищення генетичної інформації (нуклеїнової кислоти) самого віруса. Отже, принцип дії білка p53 можна образно порівняти з тим, який використовують у зброї масового знищення – якщо ракета, що несе таку небезпечну зброю, чомусь відхилилася від запрограмованого курсу, урухомлюється механізм самознищення цієї ракети ще до того, як запрацює ця зброя. Адже організмові важливіше знищити «погані» клітини, ніж дати їм можливість залишити після себе нащадків, а отже, поширитися в організмі.

Якщо на стадії прийняття рішення до апоптозу його ще можна скасувати, то на наступних стадіях – ініціації та прогресії апоптозу – процеси відмирання клітини зупинити практично неможливо. У цей період урухомлюються біохімічні процеси, в результаті яких виникають внутрішньоклітинні сигнали (певні молекули), які за касадно-ланцюговим принципом ініціюють утворення великої кількості різних молекул, що є індукторами апоптозу. Останньою у цьому ланцюзі подій є стадія деструкції, коли відбувається руйнування окремих структур клітини та її біомакромолекул, насамперед ДНК. Зрозуміло, що ця стадія апоптозу абсолютно незворотна.

Варто зазначити, що апоптозу сприяє не лише рецептор-опосередкована дія на клітини певних білкових індукторів апоптозу (наприклад, фактор некрозу пухлин, трансформувальний фактор росту бета-типу, токсичні білки, такі як рицин тощо), але й незадіяність рецепторів білкових чинників, які необхідні для підтримання життєдіяльності, росту і поділу клітин, наприклад,

інсуліноподібного фактора росту типу I, лужного фактора росту фібробластів, фактора росту із тромбоцитів, інтерлейкіну типу 2 та ін.). Загалом специфічні рецептори на поверхні клітини можна розглядати як своєрідні «органи чуття», через які клітини можуть дізнаватися по те, що відбувається у позаклітинному середовищі, і через які вони сприймають сигнали до певних своїх подальших дій. До прикладу, приреченими на загибель шляхом апоптозу є клітини, які випадково чи внаслідок механічного впливу втратили контакт білків-інтегринів своєї поверхні зі специфічними рецепторами цих білків на поверхні клітин, розміщених по сусідству. Таке відмирання клітин внаслідок їхньої “бездомності” і виходу за межі властивої їм тканини названо аноїкоз [6].

Індуктори апоптозу, для дії яких непотрібні рецептори на поверхні клітин-мішеней, різноманітніші і за своєю природою, і за механізмами їхнього впливу на клітини. Сюди, зокрема, відносять: 1) чинники фізичної природи (радіаційне або ультрафіолетове випромінювання, які безпосередньо ушкоджують ДНК, і гіпертермію, молекулярними мішенями дії якої є, переважно, клітинні білки); 2) дефіцит факторів живлення клітини (глюкоза, амінокислоти, іони та ін.); 3) різноманітні токсичні речовини, зокрема протипухлинні препарати; 4) керамід (цитотоксичний ліпід), перекисні й радикальні сполуки, азиди, ароматичні аміни, оксид азоту (останній здатний діяти як індуктор апоптозу, або як інгібітор апоптозу, залежно його концентрації та типу клітин-мішеней).

ЧИННИКИ, ЯКІ ПЕРЕШКОДЖАЮТЬ ЗАПРОГРАМОВАНОМУ ВІДМИРАННЮ КЛІТИН

Кількість чинників, які пригнічують апоптоз, дещо менша порівняно з кількістю індукторів апоптозу. Інгібітори апоптозу також можна умовно поділити на такі, що діють рецептор-опосередковано, і такі, в дії яких непотрібні специфічні рецептори на поверхні клітин-мішеней. До чинників, які використовують у своїй дії клітинні рецептори, належать уже згадані вище фактори росту, такі як інсуліноподібний фактор росту типу 1, лужний фактор росту фібробластів, фактор росту із тромбоцитів, інтерлейкін-2, колоніестимулювальні фактори та інші білкові фактори, які сприяють виживанню клітин та їхньому поділу. Умовно рецептор-опосередкованим механізмом пригнічення

апоптозу можна вважати функціонування мембранного глікопротеїну Р, який є продуктом гена *mdr-1*. Останній забезпечує видалення із клітин низькомолекулярних (маса яких менше 1 тисячі Дальтон) цитотоксичних речовин різної хімічної природи. Це робить клітину нечутливою до проапоптичної дії цих речовин, до яких, до речі, належить більшість протипухлинних препаратів. Отже, якщо у клітинах пухлини починає функціонувати ген *mdr-1* (розшифровується як «multi-drug resistance» – «множинна лікарська резистентність»), такі клітини стають нечутливими до більшості протиракових ліків.

До механізмів рецептор-незалежного пригнічення апоптозу можна зарахувати активацію гена теломери і функціонування його білкового продукту (ензиму), здатного досинтезувати спеціальні ділянки (теломери) на кінцях хромосом, як втрачаються під час реплікації ДНК при поділі клітини [5]. Ці теломерні ділянки стабілізують хромосоми й захищають їх від руйнування (Рис. 2). Стовбурові та деякі ракові клітини мають активний ген теломери, тоді як у більшості нормальних клітин, за винятком клітин чоловічої репродуктивної системи і деяких інших типів клітин, цей ген не функціонує. Під час кожного поділу нормальної клітини її хромосома ДНК вкорочується на 10–20 теломер, кожна з яких складається із 6-нуклеотидного фрагмента однакової структури (Рис. 2). Після 50–100 поділів нормальної клітини довжина теломерних ділянок її хромосом укорочується до критично допустимого значення, після чого відбувається руйнування хромосом, що фактично означає смерть клітини. Отже, клітина, як і цілісний організм, також здатна «старіти» і це є фізіологічний процес у її житті. Умовно, один рік життя клітини – це один цикл від її народження до поділу. Цікаво зазначити, що така тривалість життя нормальної клітини тканин і органів людини становить 50–100 «умовних років» (клітинних циклів), що досить несподівано збігається із тривалістю життя людини у межах 50–100 років. Здійснено перші спроби продовжити тривалість життя нормальних клітин, забезпечивши їх функціонально активним геном теломери [5]. Проте результати цих досліджень показали, що разом із продовженням кількості циклів поділу клітин у їхньому геномі накопичуються негативні зміни (мутації), наслідками яких можуть бути різні патологічні стани, включно із злоякісним ростом.

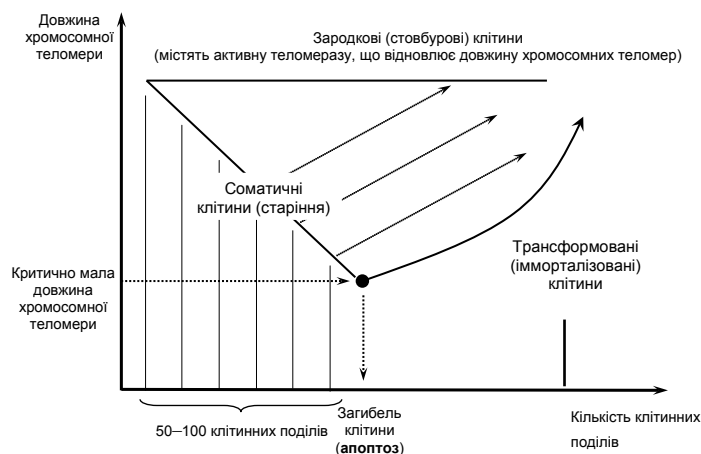


Рис. 2. Вкорочення довжини кінцевої (теломерної) ділянки хромосоми (ДНК) під час старіння соматичних клітин тканин й органів тварин і людини.

Незалежно від наявності специфічних рецепторів, на поверхні клітин також діють білкові продукти деяких онкогенів і низка внутрішньоклітинних антиапоптичних білків із різними механізмами впливу на клітину. Вище вже згадувалося про антиапоптичні чинники (наприклад, білки E1B, p35, v-Abl), що є продуктами онкогенних вірусів. Забезпечуючи синтез цих білків в інфікованих клітинах, вірус не лише перешкоджає загибелі цих клітин, але й захищає свою генетичну інформацію (нуклеїнову кислоту) від руйнування під час апоптозу.

БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ АПОПТОЗУ

Роль апоптозу у фізіологічних процесах. Можна визначити три головні аспекти значення апоптозу в забезпеченні нормального перебігу фізіологічних процесів: 1) підтримання кількісної рівноваги (гомеостазу) клітин в органах і тканинах організму; 2) забезпечення процесів нормального розвитку; 3) забезпечення імунологічного нагляду за процесами життєдіяльності. [Показник загальної кількості клітин в організмі] = [показник розмноження клітин] – [показник відмирання клітин]. У молодому віці людини показник приросту кількості клітин перевищує показник їх відмирання, приблизно у 24 роки ці показники зрівнюються, а загальна кількість клітин в організмі становить приблизно 10^{14} (за відсутності надмірної ваги чи інших патологічних станів), а у старшому віці відмирання клітин починає переважати їх розмноження (знову ж таки за відсутності деяких захворювань). Такий баланс (гомео-

стаз) кількості клітин в органах і тканинах – важлива характеристика стану здоров'я людини (Рис. 3).

Клітинний гомеостаз у тканинах і органах людини (всього в тілі дорослої людини ~ 10^{14} клітин)

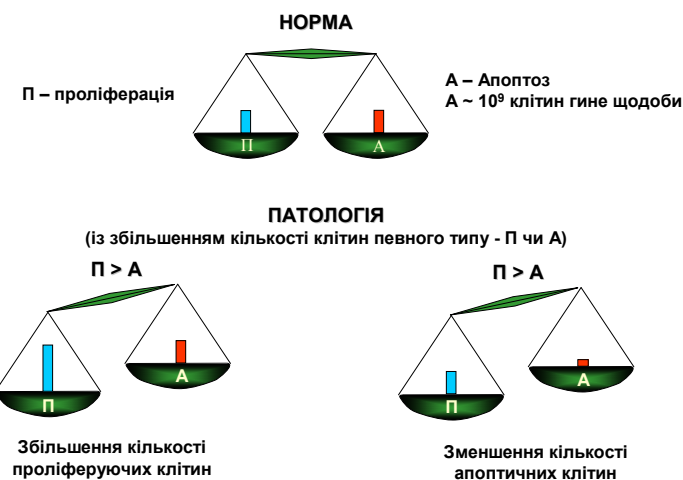


Рис. 3. Клітинний гомеостаз (баланс клітин) в організмі людини.

Роль апоптозу важлива і в ембріональний період розвитку організму, і в дорослому віці. Встановлено, що формування зародка багатоклітинних організмів відбувається не лише через збільшення кількості клітин ембріона, а й через відмирання клітин у певних частинах зародка, внаслідок чого виникає саме та форма зародка, що необхідна для виконання певних функцій. Показовими прикладами морфогенезу за участі апоптозу в дорослому віці є перетворення личинки комахи на жука чи метелика, втрата хвоста пуголовком амфібій, а у людини – зменшення розмірів грудних залоз у жінки після припинення лактації (годування грудьми), чи вирівнювання поверхні тканини або органа (втрата рубця) на завершальному етапі загоювання рани.

Характеризуючи роль апоптозу під час функціонування імунної системи, варто зазначити відмирання аутоімунних Т-клітин у тимусі, де вони утворюються і потім масово гинуть (до 95 % від усієї кількості генерованих Т-клітин, які мають здатність відрізнити в організмі своє від чужого). Аутоімунні клітини небезпечні тим, що вони розпізнають деякі біополімери власного організму і їхня дія призводить до розвитку аутоімунних захворювань. Іншим прикладом може бути усування з організму так званих «бездомних» клітин, які з різних причин (випадково чи внаслідок травми) втратили контакт зі своєю тканиною чи своїм

органом і тому становлять потенційну небезпеку, бо можуть дати початок утворенню пухлини. Про явище елімінації з організму «бездомних» клітин (аноїкоз) вже йшлося вище.

Роль апоптозу в патологічних процесах. Нижче перераховані основні захворювання, виникнення і перебіг яких супроводжується порушеннями (аномальним посиленням чи послабленням) апоптозу. Захворюваннями людини з патологічним зростанням інтенсивності апоптозу є:

- автоімунні захворювання;
- імунодефіцитні стани;
- серцево-судинні захворювання;
- нейродегенеративні захворювання;
- захворювання шлунково-кишкового тракту;
- легеневі захворювання;
- офтальмологічні захворювання;
- гематологічні захворювання;
- вірусні захворювання;
- бактерійні захворювання;
- проблеми відторгнення під час трансплантації органів та кісткового мозку.

Захворюваннями людини з патологічним зниженням інтенсивності апоптозу є:

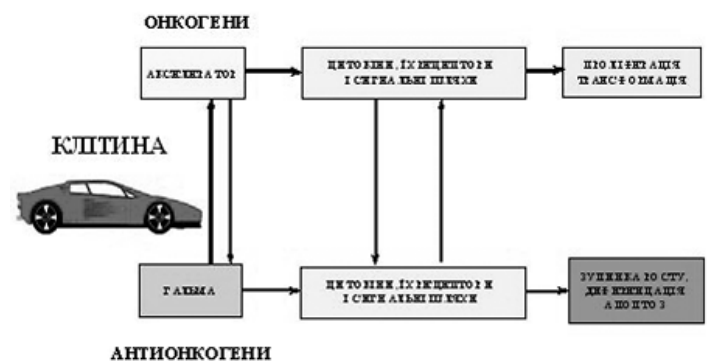
- онкологічні захворювання;
- алергічні захворювання;
- деякі бактерійні захворювання.

Зазначені вище патологічні стани, у яких задіяний апоптоз, можна більш загально систематизувати на чотири категорії: 1) лізування (руйнування) клітин, інфікованих вірусами; 2) знешкодження бактерійних клітин, токсинів та чужорідних антигенів (біомакромолекул); 3) руйнування патологічно змінених клітин із втратою певних функцій в організмі; 4) злоякісний ріст (утворення пухлин клітинами із дефектним апоптозом). У першому випадку апоптоз інфікованих вірусами клітин – важлива форма захисту організму від чужорідної (вірусної) генетичної інформації, поширення якої може призвести до інфікування усього організму та передачі інфекції потомкам цього організму. У другому випадку відбувається те саме, що й під час вірусної інфекції, але стосовно інших патогенетичних чинників (бактерій чи їхніх токсинів). У третьому випадку патологічні клітини, приречені на апоптоз, можуть ви-

никати і спонтанно, і під впливом фізичних чи хімічних чинників неживої природи. У четвертому випадку клітини, які приречені на відмирання шляхом апоптозу, уникають цього і дають початок генетично зміненим клітинам-нащадкам, що формують ракову пухлину. Як вже йшлося вище, одним із механізмів виходу генетично зміненої клітини з-під контролю організму є мутації в гені білка р53, що супроводжуються втратою функцій останнього. Встановлено, що від 50 до 80 % злоякісних пухлин людини мають змінений через мутації ген цього «охоронця генома».

Існують дві групи генів, білкові продукти яких регулюють розмноження клітин та їхній апоптоз (Рис. 4). Продукти протоонкогенів, як правило, стимулюють клітинний поділ та інгібують апоптоз, тоді як продукти антионкогенів (їх ще називають генами-супресорами пухлин), зазвичай, діють навпаки, гальмуючи клітинний поділ і стимулюючи апоптоз. Для організму шкідливими є мутаційні зміни в генах обох цих груп, бо вони можуть призводити до злоякісного процесу (раку). Онкогени та антионкогени можна образно порівняти з педалями газу та гальм в автомобілі, який не зможе нормально рухатися, якщо буде справною лише перша, або лише друга педаль (Рис. 4).

Рис. 4. Регулятори росту, диференціації, трансформації та апоптозу клітин тварин і людини (схема функціонування і взаємодії).



Попри описану вище чітку запрограмованість «долі» нормальних клітин тканин й органів тварин і людини на те, щоб прожити приблизно 50–100 клітинних циклів (поділів) і після цього «померти» шляхом апоптозу, було також продемонстровано можливість принципово змінити цю програму життя клітини. Це зробив Джон Гордон (Велика Британія) і Шинья Яманака (Японія), які 2012 року одержали Нобелівську премію за «відкриття того, що зрілі клітини можуть

бути перепрограмовані, щоб стати плюрипотентними» [10]. Іншими словами, було встановлено, що «смертну» клітину тканин й органів тварин і людини можна перетворити на клітину з різними можливостями до розвитку, тобто фактично зробити її стовбуровою клітиною. Цим було вирішено відразу кілька серйозних проблем, пов'язаних із одержанням і використанням стовбурових клітин для потреб медицини. По-перше, було подолано серйозну біоетичну проблему, пов'язану з одержанням стовбурових клітин з ембріонів людини, що забороняють усі світові релігії. По-друге, з'явилася можливість отримувати клітини власного організму для перетворення їх на стовбурові клітини і цим усунути перешкоду імунологічної сумісності трансплантованих стовбурових клітин. По-третє, тепер можна керувати шляхом перетворення стовбурових клітин на клітини будь-яких тканин й органів із потенційною можливістю вирощувати поза організмом людини штучні тканини й органи для їхньої пересадки людині.

Джон Гердон ще 1962 року показав, що ядро високоспеціалізованої клітини кишківника жаби можна генетично перепрограмувати, помістивши його в запліднену яйцеклітину жаби, замість видаленого власного ядра цієї яйцеклітини. Через понад 40 років, 2006 року, Шинья Яманака вперше описав перепрограмування високоспеціалізованих клітин тканин миші у стовбурові клітини з високим потенціалом їхнього розвитку у клітини різних тканин і органів. Несподівано, для цього виявилось достатнім ввести в ці зрілі клітини гени усього п'яти транскрипційних факторів (див. вище), які керують процесами функціонування генів. Ці наукові розроблення остаточно підтвердили, що нова наука – регенеративна медицина – справді існує, і що перепрограмування клітин для вирощування тканин і органів людини поза організмом – це лише питання часу.

ЗАМІСТЬ ЕПІЛОГУ

Із точки зору досягнень сучасної біологічної науки, життя і смерть можна розглядати, відповідно, як можливість чи неможливість сприймати, зберігати і поширювати генетичну інформацію певним біологічним суб'єктом. Ця інформація визначає сутність існування будь-якого живого організму, який намагається зберегти її у своїх нащадків без значних змін (запрограмоване

біологічне відтворення). Одночасно живий організм усіляко бореться із виявом і поширенням чужорідної (насамперед вірусної) чи патологічно зміненої власної генетичної інформації і засобами цієї боротьби є запрограмована загибель клітин (апоптоз). Інформація, що лежить в основі свідомості людини, зокрема її індивідуальних (наприклад, мислення, кохання) чи суспільних (наприклад, мораль, релігія) форм, наразі неможливо пояснити простим механістичним функціонуванням генетичної інформації за принципом +/-, тобто дія чи відсутність дії продуктів певних генів. В актах свідомості виникають дуже складні взаємодії за участю надзвичайно великої кількості компонентів і лише на підставі таких взаємодій формується певне рішення, або поведінкова реакція людини. Наука поки що не вміє розв'язувати завдань такого рівня складності, тому їх не порушуємо у цій роботі.

КОРОТКИЙ СЛОВНИК ТЕРМІНІВ ЗА МАТЕРІАЛАМИ СТАТТІ [2]

Автофагія – відокремлення частини цитоплазми клітини мембраною з утворенням внутрішньоклітинної вакуолі та перетравлення цього матеріалу ензимами після злиття відокремленої вакуолі з лізосоною всередині клітини.

Антионкоген (ген-супресор пухлин) – ген, здатний гальмувати перетворення нормальних клітин на злоякісні, пухлинні клітини. У пухлинних клітинах антионкогени змінені шляхом мутацій і тому втрачають свою первісну функцію.

Апоптоз – генетично запрограмований процес самознищення клітини в багатоклітинному організмі. Апоптоз потрібний, щоб забезпечити функціональну архітектуру органів, зберегти сталість клітинного складу тканин в організмі, ліквідувати пошкоджені, старі та інфіковані вірусами клітини, що не дає можливості цим клітинам розмножуватися і поширюватися в організмі.

Біомакромолекули – великі молекули, яким притаманна полімерна, ланцюгова структура і які утворюються під час функціонування клітин. Серед головних біомакромолекул – білки, нуклеїнові кислоти, полісахариди.

Генотип – повний комплект генів в організмі.

ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота) – довгий

лінійний полімер, що складається із 4-х видів (мономерів) дезоксирибозонуклеотидів, послідовність яких кодує генетичну інформацію. У нативному стані ДНК виглядає як подвійна спіраль 2-х антипаралельних ланцюгів ДНК, які утримуються разом водневими зв'язками між комплементарними пуриновими і піримідиновими нуклеотидними основами (Аденін–Тимін, Цитозин–Гуанін).

Електрофорез – фракціонування частинок в електричному полі залежно від їхнього заряду (за певних умов – залежно від їхніх розмірів).

Ензим (фермент) – білкова молекула, здатна каталізувати певну хімічну реакцію, не змінюючись після закінчення цієї реакції.

Життя – особливий стан живого організму, що характеризується визначеною структурною організацією і сталістю складу, розвитком, відтворенням, обміном речовин, здатністю до пристосування, рухом та деякими іншими ознаками.

Клітина – основна структурна і функціональна одиниця живого організму. Будь-яка клітина може виникнути у природі лише з іншої клітини. Типова клітина складається з ядра (містить генетичний матеріал у вигляді дезоксирибонуклеїнової кислоти – ДНК), оточеного цитоплазмою, яка містить різні субклітинні органели, необхідні для підтримання перебігу внутрішньоклітинних процесів. Цитоплазма оточена клітинною (плазматичною) мембраною, яка допомагає підтримувати сталість внутрішньоклітинного складу і його відмінність від складу позаклітинного середовища. У бактерій (одноклітинні організми) сформованого ядра нема і їх називають прокаріотичними організмами. Організми з чітко сформованим ядром називають еукаріотичними організмами. Існують одноклітинні й багатоклітинні організми.

Клітинна теорія полягає у тому, що на Землі не існує інших форм організації живої матерії, крім клітинної, причому нові клітини можуть виникати лише шляхом поділу клітин-попередників.

Клітинний цикл – визначена циклічна послідовність біохімічних і морфологічних явищ, які відбуваються під час поділу (репродукції) клітин.

Лізосома – відносно мала внутрішньоклітинна органела із низьким рН 4–5. Вона містить різноманітні гідролітичні ензими, які розщеплюють полімерні біомакромолекули.

Мітохондрія – відносно велика внутрішньоклітинна органела, оточена мембраною із двох шарів фосфоліпідів, містить власну ДНК, здійснює оксидативне фосфорилування, завдяки якому продукується більшість енергії (у вигляді аденозинтрифосфату – АТФ), необхідної для підтримання життєдіяльності клітини.

Мутація – будь-яка якісна чи кількісна зміна у структурі генетичного апарату (ДНК) клітини.

Некроз (клітинний) – сукупність морфологічних змін, які визначають відмирання клітини і спричинені руйнівною дією ензимів на клітинні структури.

Онкоген – ген, функціонування якого здатне за певних умов спричинити трансформацію нормальних клітин у ракові. Онкоген може входити до складу вірусного геному, або виникати шляхом зміни в нормальних клітинах свого попередника – протоонкогена.

Орган – відносно незалежна складова організму, що виконує певну функцію або функції (наприклад, легені – доставка кисню в організм і видалення вуглекислого газу з організму).

Органела – оточена мембраною організована структура (наприклад, ядро, мітохондрії, лізосоми), розташована у цитоплазмі, має чітку морфологію і функції, подібні в усіх еукаріотичних клітинах.

Організм – живе створіння (тварина, рослина, мікроорганізм), якому притаманні ознаки життєдіяльності – ріст, розмноження, успадкування ознак, обмін речовин, сталість складу (гомеостаз) та ін.

Плазматична мембрана – складається із подвійного фосфоліпідного шару з асоційованими білками. Оточує клітину, відокремлюючи її вміст від позаклітинного середовища.

РНК (рибонуклеїнова кислота) – лінійний, одноланцюговий полімер, що складається із рибозонуклеотидів і синтезується шляхом зчитування (транскрипції) з молекули ДНК. Існують три види клітинних РНК: мРНК (матрична або інформаційна РНК), рРНК (рибосомна РНК) і тРНК (транспортна РНК).

Смерть – кінець життя організму, що супроводжується остаточним і незворотним припиненням його життєдіяльності: 1) функції головного мозку; 2) функції дихальної системи; 3) функції серцево-судинної системи. Стосовно органа, тканини, клітини, органел термін «смерть» в україномовній науковій літературі не вживають, хоча в англійській літературі він досить поширений (death). Стосовно цих структурних форм

живої матерії переважно використовують термін «відмирання», а стосовно біомакромолекул – термін деградація (структурне руйнування).

Тканина – сукупність клітин і неклітинних структур, об'єднаних подібною будовою, розвитком і виконанням певної функції.

Фактор росту – білкова речовина, яка діє подібно до гормонів, але, на відміну від останніх, не має чітко визначених залоз секреції і клітин-мішеней.

Фенотип – уся сукупність фізичних, біохімічних і фізіологічних ознак організму, що визначається і на генетичному рівні, і під впливом зовнішнього середовища.

Цитоплазма – в'язкий вміст клітини, оточений плазматичною мембраною (в еукаріотичних клітинах ядро відокремлене від цитоплазми).

Ядро – найбільша, оточена мембраною органела всередині еукаріотичних клітин, що містить ДНК, яка організована у хромосоми. В ядрі відбувається подвоєння ДНК під час поділу клітин, а також синтез і перетворення РНК і формування рибосом, за допомогою яких синтезуються білки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Білий Р. О., Стойка Б. Р., Стойка Р. С. Запрограмована смерть клітин (апоптоз) у репродуктивних органах ссавців // *Біологія тварин.* – 2002. – Т. 4. – № 1–2. – С. 31–43.
2. *Люстрований Медичний Словник Дорланда : у 2 т. W. B. Saunders Company, Division of Elsevier Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA. 2000. Український переклад 29-го Американського видання. – Nautilus Publishing House. Lviv, Ukraine.*
3. Кнорре А. Г. *Эмбриональный гистогенез.* – Л. : Медицина, 1971. – 432 с.
4. Фільченков О. О., Стойка Р. С. *Апоптоз і рак: від теорії до практики.* – Тернопіль : Укрмедкнига, 2006. – 524 с.
5. Bodnar A. G., Ouellette M., Frolkis M. et al. *Extension of life span by introduction of telomerase into normal human cells // Science.* – 1998. – V. 279. – P. 521–529.
6. Frisch S. M., Ruoslahti E. *Integrins and anoicosis // Curr. Opin. Cell Biol.* – 1997. – V. 9. – P. 701–707.
7. Gosden R., Spears N. *Programmed cell death in the reproductive system // Brit. Med. Bull.* – 1997. – V. 53. – P. 644–661.
8. Levine A. J. P. 53, *the cellular gatekeeper for growth and division // Cell.* – 1997. – V. 88. – P. 323–331.
9. Shintani T., Klionsky D. J. *Autophagy in health and disease: A double-edged sword. // Science.* – 2004. – V. 306. – P. 990–995.
10. Daley G. Q. *Cellular alchemy and the golden age of reprogramming // Cell.* – 2012. – V.151. – P. 1151–1154.

1. На мою думку, наука – не лише збирання, систематизація та впорядкування фактів і спостережень; ці процеси я називаю знанням. (Власне) наука постає лише тоді, коли більш засадничий і об'єднавчий погляд зіставляє і об'єднує знання (пор.: знати vs розуміти). Звісно, це розрізнення – не унікальне і його важко чітко окреслити. Знанням я називаю, наприклад, каталог зірок, що його збрала (абсолютно гідна поваги) праця астрономів. З іншого боку, маємо світову систему Ньютона, яка пояснює рух планет Сонячної системи, вдаючись до дуже небагатьох підставових законів.

2. Це твердження не може вповні стосуватися Евкліда. Можна припускати, що існують попередники Евкліда, які бачили проблему з тієї ж висоти (див. далі). У будь-якому разі я не заперечую, що як і Ньютон, Евклід теж стояв “на плечах велетнів”.

3. Чи вдалося б заповнити цю гіпотетичну пустку пізніше – інша річ. Однак я переконаний, що ідеї, окреслені в обраних працях, суттєво випереджували свої

ПРО ЕВОЛЮЦІЮ СУЧАСНИХ НАУК (ЧОТИРИ КНИЖКИ, ЩО ЛЯГЛИ В ОСНОВУ ПРИ- РОДНИЧИХ НАУК)

Гаральд Іро

*Інститут теоретичної фізики,
Університет Йогана Кеплера, Лінци, Австрія*

ВСТУП

Намагаючись назвати осіб, найважливіших у формуванні науки¹, а також праці, що відчинили двері до наукового мислення, історію науки цілком справедливо можна окреслити, пославшись на усього жменю імен. На мою думку, найвпливовішими книжками для сучасних наук (фізики, хімії та біології) стали:

- “Начала геометрії” (“Начала”) Евкліда,
- *Philosophiae naturalis Principia mathematica* (“Математичні начала натуральної філософії,” *Principia*) Ньютона,
- “Нова система хімічної філософії” Дальтона, а також
- “Походження видів” Дарвіна.

Ця компіляція може здаватися ані переконливою, ані оригінальною, однак, на мою думку, ці праці справді виділяються порівняно із давнішими книжками з відповідних предметів; стиль кожної вражає. Завдяки аксіоматизації широких галузей нинішніх геометрії та механіки, височіють серед них Евклідові “Начала” та Ньютонові “Начала”.² Без цих чотирьох праць науки у тому вигляді, в якому ми знаємо її сьогодні, не існувало б.³ Книжки ці не залишаються на суто описовому рівні, збираючи факти⁴ і можливо розбудовуючи номенклатуру⁵. Натомість вони впроваджують аксіоми або закони і так успішно вибудовують пояснювальний і об'єднавчий погляд, що задовільно пов'язує різні теми або явища. Звісно, ці книжки випливають із праць великих попередників, “велетнів,” з чіх плечей краще видно дорогу.

У цій статті я спробую окреслити розвиток науки, виходячи із названих вище чотирьох книжок разом із низкою новаторських внесків. Моя стаття не є науковою презентацією; радше я вбачаю у ній туристичний путівник, що показує найвищі гори і стежки, що ведуть до їх вершин.

1. ДЕЯКІ ПИТАННЯ АНТИЧНОЇ ФІЛОСОФІЇ

Сучасна наука залежить від розвитку мислення (філософії) у нашій (“західній”) культурі. Розуміння сприйнятного світу було завданням античної філософії (Платон, Аристотель). Підхід до природи, від найменших її частинок і до всесвіту, був спекулятивним⁶; метод полягав у здобутті знання через докази й роздуми; уявлення про експериментальний доказ не існувало. Однак існувало також знання, що ґрунтувалося на систематичному технічному застосуванні явищ природи (Архімед, Герон; див. поклик [36]).

1.1. АНТИЧНА МАТЕМАТИКА

Першим доленосним, основоположним кроком в історії науки – кроком, який не має паралелей в інших культурах, – став розвиток математики. Математика (μαθηματική, тобто τέχνη (вміння)) у Давній Греції складалася з:

- Арифметики (ἀριθμητική; Піфагор): мистецтво обчислення, теорія чисел.
- Геометрії (γεωμετρία; Евклід, Архімед): мистецтво землемірства.
- Астрономії (ἀστρονομία; Піфагор, Птолемей)⁷.
- Музики (μουσική; Піфагор, Платон, Аристотель).

Згодом астрономія та музика виокремилися у самостійні сфери.

Праці Архімеда [1] стосовно рівноваги та центру маси плоских фігур, а також стосовно плаваючих тіл – зразки прикладної математики. До того ж, у Давній Греції досить розвиненою була інженерія [36]. Існують припущення, що Архімед писав про прості механізми (важіль згадується вже у Аристотелевій “Фізиці” [2]). Так звані п’ять простих механізмів – колесо з віссю (корбу), важіль, клин, блок і гвинт – описує Герон у своїх (частково втрачених) книжках, присвячених ме-

часи (можливо, Дарвіна це стосується меншою мірою).

4. Р. Керр у вступі до поклику [24].

5. Лавуазьє, вступ до “Елементарного трактату з хімії” [24]. Звісно, як зауважив Лавуазьє, вже саме встановлення номенклатури тісно пов’язане з уявленнями щодо фактів. Однак у формуванні наук існують й інші важливі кроки, як буде видно далі.

6. Пор. атомізм Демокріта та Аристотелеву космологію. Приклад античної аргументації: у кн. II, частині 9 своєї “Фізики” [2] Аристотель дозволяє собі досить довільне ствердження, що все важке природно спускається донизу, а все легке – підіймається вгору. Так він пояснює послідовність каміння, землі та дерева. Цей підхід, за яким властивості природи можна визначити і зрозуміти на погляд (а не внаслідок спостереження) та через роздуми, залишався практично незмінним до періоду Відродження.

7. Астрономія – перша традиція

систематичного спостереження за природою, існувала в багатьох культурах. Після столітнього домінування геоцентричної системи Коперникове наголошення на геліоцентричній системі знову дало важливий поштовх розвиткові науки.

8. Три книжки Геронової “Механіки” вціліли лише в арабському перекладі. Праця, ймовірно, походить із початку III ст. до Р. Хр.

ханіці⁸ (Герон називає ці механізми п’ятьма механічними силами; сила: δύναμις). Сам Герон розробив значно складніші механізми на кшталт торгових автоматів та пневматичних дверей [36].

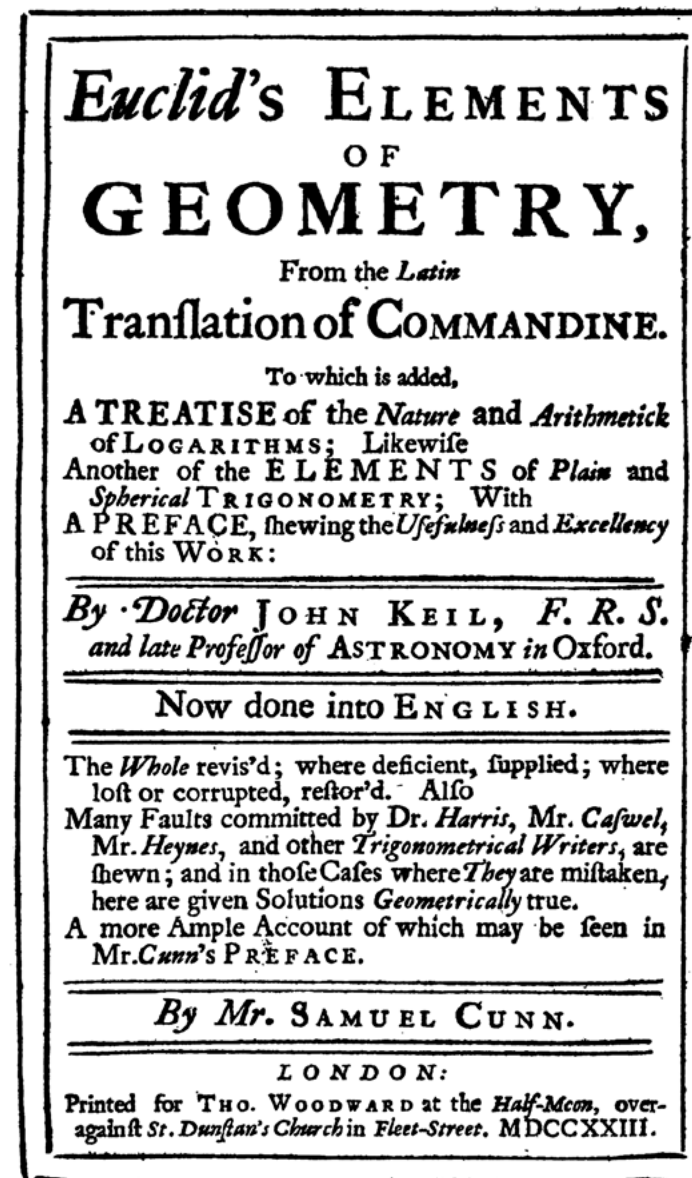


Рис. 1. Евклідові “Начала”: титульна сторінка перекладу Джона Кіла (Лондон, 1723 р.; покл. [9]).

1.2 ЕВКЛІДОВІ “НАЧАЛА”

Нове світло на геометрію пролила аксіоматизація, що її здійснили Евклідові “Начала”: “Безперечно, “Начала” Евкліда – одна з найвеличніших будь-коли написаних книжок, і один із найдовершеніших монументів грецького інтелекту” (Б. Рассел [35]).

Написані близько 300 року до Р. Хр. “Начала” – один із найдавніших грецьких математичних трактатів, що зберігся до наших часів; можна припускати, що він ґрунтується на давніших працях¹⁰. Історія цієї праці не позбавлена певної неоднозначності. Звісно, не існує оригінальної версії. Трактат зберігся завдяки арабській традиції.¹¹ Тоді ж його доповнено коментарями і змінами. Року 1482 “Начала” перекладено з арабської латиною, і лише 1583 року – грецькою. Відтак перекладено іншими європейськими мовами.¹²

Навіть якщо Евклід лише скопіював і переформулював давніші теореми, вже сама аксіоматизація, якої він досяг у “Началах”, залишалася впливовою впродовж століть. Саме ця аксіоматизація перетворює знання землемірства на науку геометрії.

“Начала” складаються із 13 книг. Перша книга розпочинається з низки визначень, за якими ідуть постулати й аксіоми.¹³ Серед постулатів міститься і знаменитий постулат або аксіома¹⁴ про паралелі – визначальна риса евклідової геометрії¹⁵:

Постулат V:

Якщо пряма, що перетинає дві інші прямі, утворює внутрішні односторонні кути, менші за два прями кути, то продовжені до нескінченності, ці дві прямі перетнуться з того боку, з якого знаходяться кути, менші за прями.

Відтак Евклід розпочинає здійснювати головну мету своїх “Начал”: геометричні вправи формулюються як твердження; у доведенні цих тверджень застосовуються означення, постулати та аксіоми. Як приклад такого твердження розгляньмо перше завдання [9]:

Твердження I:

Побудувати рівносторонній трикутник на заданому відрізку прямої.

І без слідування Евклідовому розв’язанню, яке починається на низку означень, постулатів та аксіом, рішення цього завдання буде зрозумілим для нас сьогодні з Рис. 2, яким ця задача супроводжується у друкованих виданнях¹⁶ (тобто виданнях, що з’явилися через багато

9. Автором цієї праці є Евклід Александрійський; іноді цього математика плутають із давнішим філософом, Евклідом Мегарським.

10. У коментарі до “Начал” грецький математик Прокл згадує імена Евдокса та Теагета. До інших попередників належать також Піфагор, Гіпократ Хіоський та Платон.

11. Араби отримали “Начала” з Візантії близько 760 року. Працю перекладено арабською близько 800 р. (Б. Рассел [35]). Праця була втраченою для християнської Європи до бл. 1120 р., коли англійський монах Аделяр з Бет видав себе за мусульманського учня, аби отримати примірник книжки в мусульманській Кордобі (W. W. Rouse Ball [33]).

12. Огляд праць С. Thaer [10], W. W. Rouse Ball [33], та Т. Heath [30] не допоміг мені з’ясувати із скількох різних джерел “Елементи” перекладали сучасними мовами. У будь-якому разі, переклади переважно узгоджуються (однак за винятком деяких деталей).

13. Деякі з наступних книжок також

століть після Евкліда; відрізком прямої тут є АВ): Третя вершина рівностороннього трикутника, точка С, є однією із двох точок перетину двох кіл із центрами навколо точок А і В з радіусами АВ.

Рис. 2: Точки А, В та С утворюють рівносторонній трикутник, оскільки, за побудовою, $CA=CB=AB$ (рисунок із покл. [9]).

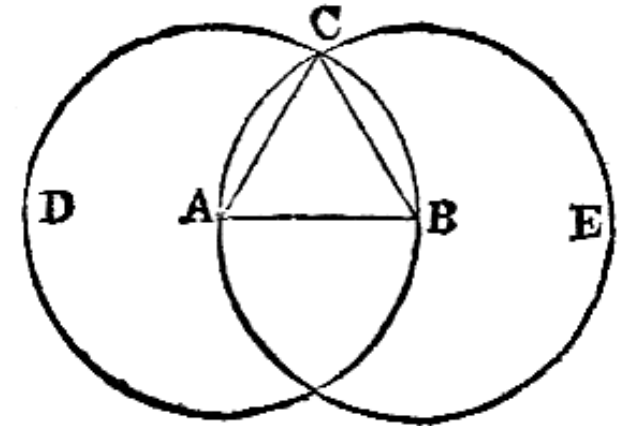
розпочинаються з означень. В англійському перекладі Дж. Кіла, у книзі V також з’являються дві аксіоми.

14. Їх кількість різниться залежно від видання. Англійський переклад Кіла [9] поміщає п’ятий постулат серед аксіом.

15. Без цієї аксіоми постають геометрії у “кривому” просторі, наприклад, геометрії поверхні сфери. Такі геометрії важливі для загальної теорії відносності, а отже, і для сучасної картини всесвіту.

16. Перше друковане видання “Начал” з’явилось 1482 року.

17. Спіноза застосовує Евклідовий стиль також і у представленні віддаленого від науки предмета, а саме етики: *Ethica, ordine geometrico demonstrata* (1677, помертньо).



Стиль “Начал” був зразковим упродовж близько двох тисячоліть! Презентуючи теми третього та четвертого днів у *Discorsi* (див. нижче), Галілео застосовує головню Евклідовий стиль, а не діалоги, як в інших частинах книги. “Начала” Ньютона повністю написані у цьому стилі. Навіть деякі філософські праці Спінози (наприклад, *Renati Des Cartes Principiorum Philosophiae ... More Geometrico demonstratae...*, Amsterdam 1663) написані у стилі Евкліда.¹⁷

2. НАУКА У СЕРЕДНЬОВІЧЧІ

Середньовіччя не було сприятливим для науки; прогрес тоді був незначний¹⁸: авторів невідомий жоден важливий крок у сфері природничих наук, що відбувся б у середні віки. Наголос ставився на філософію та богослов’я, причому у філософії домінувало схоластичне мислення: ‘*philosophia ancilla theologiae*’ (філософія – служниця богослов’я); сенс філософії був у тому, щоб прислуговувати богослов’ю. Однак варто вказати, що важливим процесом було передання античних текстів (наприклад, Аристотеля, Архімеда, Евкліда, Птолемея), часто через мусульманських учених.

Нове життя античні ідеї отримали в добу Відродження; розпочалося процвітання мистецтв і науки. Відбулося незначне послаблення строгих правил Католицької Церкви щодо загальнообов'язкових поглядів і мислення. Леонардо да Вінчі – не науковець, але видатний спостерігач і водночас видатний графік та живописець, здійснив дуже точні спостереження навіть над звичайно короткотривалих процесів. Його креслення таких процесів (наприклад, потоку води в посудині) є немислимо точними. Його спостереження містили численні ідеї щодо механізмів, які далеко випереджували його час.

18. Інші погляди, див.: Ліндберг [31], Розділ 14.

19. Планети іноді демонструють рух у протилежному напрямку, таким чином орбіта, яку спостерігають астрономи, утворює петлю.

20. Стала пропорційності має те ж саме значення для усіх планет.

3. ДЖЕРЕЛА МОДЕРНОЇ ЕПОХИ

Сучасне бачення “світобудови”, тобто планетарної системи, походить із 1543 року, від публікації *De revolutionibus orbium coelestium* (“Про обертання небесних сфер,” покл. [4]) Миколая Коперника. Ця праця усунула Землю з центру Всесвіту і помістила там Сонце. Геліоцентричну систему вже пропонували в античні часи, однак, тепер вона ґрунтувалася на новому аналізі астрономічних спостережень (спостережень, які навіть не належали самому Коперникові, оскільки він користувався доволі простим обладнанням, навіть як на свої часи). Він зрозумів причину зворотного руху¹⁹ планет: для спостерігача на Сонці такого руху немає.

Католицька Церква 1616 року заборонила приймати систему Коперника: католикам дозволяли розглядати її лише як гіпотезу.

3.1 КЕПЛЕРОВІ ЗАКОНИ РУХУ ПЛАНЕТ

Коперникова система стала передумовою для внеску Йогана Кеплера, зокрема його знаних трьох законів руху планети довкола Сонця:

1. Орбіта кожної планети є еліпсом із Сонцем в одному з фокусів.
2. Пряма лінія, що поєднує планету та Сонце, описує однакові площі впродовж однакових проміжків часу.
3. Квадрат періоду обертання планети прямо пропорційний²⁰ кубові великої напівосі її орбіти.

Кеплер був винятковим автором, який не боявся ділитися своїми мотивами, сумнівами й роздумами. Його

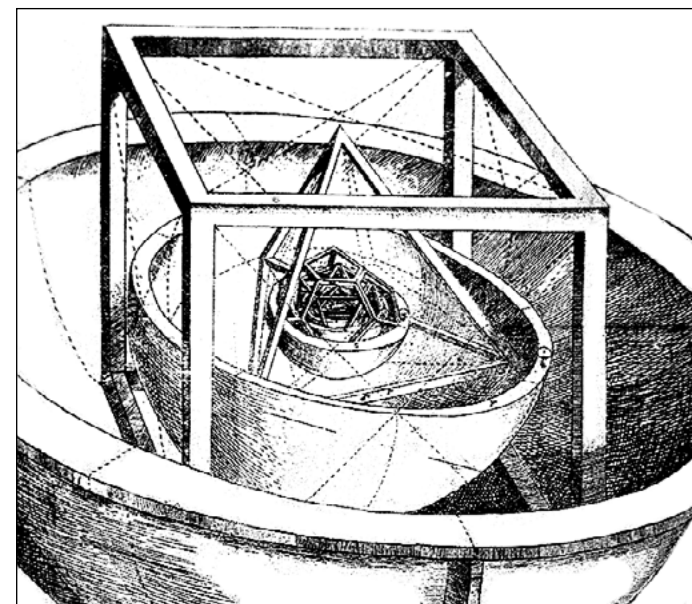
21. П'ять платонових тіл – правильні багатогранники із чотирма (тетрагедрон), шістьма (куб), вісьмома (октагедрон), дванадцятьма (додekaгедрон) та двадцятьма (ікосагедрон) гранями (пор. рис. 3, на якому зображено Кеплерову модель).

Рис. 3. Кеплерове “пояснення” розміру сфер, що містять планетарні орбіти (див. [16]).

22. Некругову орбіту можна описати через впровадження т. зв. епіциклу. Планета рухається за малим циклом (епіциклом), чий центр здійснює рух по колу навколо Землі. Якщо один епіцикл дає неточний опис, доводиться запроваджувати подальші епіцикли, центри яких рухаються за епіциклами.

Розмаїття епіциклів, що їх застосовувала птолемейська система для представлення орбіт небесних тіл навколо Землі, не має рис глибокого розуміння – епіцикли є лише зручним засобом для математичного опису цих орбіт. Застосування кіл можна відстежити до Аристотелевого припущення, за яким рух планет є рівномірним і круговим.

письмом керувало прагнення гармонії, краси та симетрії. Це дуже чітко простежується у його *Mysterium Cosmographicum* (Космографічна таємниця, 1596 р., [16]), знаній із “роз'яснення” відстаней між шістьма (відомими на той час) планетами у термінах розміщення п'ятох платонових тіл²¹ між вкладеними одна в одну сферами (див. Рис. 3) у послідовності: Сонце – сфера Меркурія – октагедрон – сфера Венери – ікосагедрон – сфера Землі – додекагедрон – сфера Марса – тетрагедрон – сфера Юпітера – куб – сфера Сатурна.



Кеплер вивів свої перший та другий закони із точних спостережень за орбітою Марса, що їх здійснив Тихо Браге; 1609 року він опублікував їх у своїй *Astronomia Nova* (Нова астрономія)[17]. Він 1619 року розкрив третій закон у праці *Harmonice Mundi* [18]. У цій праці йдеться про гармонію геометричних фігур, гармонію у музиці, гармонію між небесними тілами й (людською) природою, а також гармонію руху планет.

Разом із геліоцентричною системою Коперника три закони Кеплера є першим кроком у становленні астрономії як власне науки (у тому значенні, яке наводжу на початку статті)²². Завершило це становлення досягнення Ньютона.

3.2 ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ГАЛІЛЕО

Галілео Галілей досліджував не лише падіння тіл і маятниковий рух, а й відстоював Коперникову систему. З огляду на його винахідливість у всьому, що можна спостерегти й виміряти,²³ а також підхід до вимірювання, Галілея, зазвичай, вважають засновником наукового методу дослідження шляхом експериментів, тобто продуманого встановлення умов і вимірювальних приладів, які уможливають повторення експериментів, а отже, і перевірку раніше отриманих результатів.

Захист Коперникової системи у виконанні Галілео, *Dialogo di Galileo Galilei sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico, e copernicano* (Діалог про дві головні системи світобудови, 1632 року видання [12]) спровокував судовий процес над ним з боку Католицької Церкви. Для нас важливо згадати два питання, що розглядаються у “Діалозі”: принцип відносності, виведений із спостереження за рухом корабля з берега²⁴ (1905 року на зміну йому запроваджено принцип відносності Айнштайна), а також (хибна) теорія про припливи і відпливи,²⁵ яку він застосував як аргумент на користь Коперникової системи на судовому процесі. Галілео навів результати своїх експериментів у праці *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica i movimenti locali* (Роздуми й математичні демонстрації, що стосуються двох нових наук, 1638 року видання [13]). Особливу вагу мають його дослідження маятникового руху й вільного падіння. Спостереження Галілео щодо ламання балок і наслідкові роздуми про склад матерії позначають початок наукового дослідження когезії, що триває до наших днів.

3.3 ФІЛОСОФІЯ ДЕКАРТА

Те, що Католицька Церква засудила Галілео, багато років стримувало Рене Декарта від публікації його *Principia Philosophiae* (Начал філософії) [8]. Книга зрештою вийшла друком 1644 року в Амстердамі. До науково стосовного у книзі варто віднести Декартів **перший закон природи**²⁶: Тіло зберігає свій стан, зокрема, стан руху. Декарт також уже сформулював закон прямолінійного руху (його другий закон природи²⁷) і запропонував частково хибні міркування про лінійні пружні зіткнення. Та найвпливовішою стала його вихрова модель “тон-

23. Підхід Галілео добре характеризує розповідь про скидання ядра і дерев'яної кулі з вершини Пізанської вежі, щоб перевірити Аристотелеве твердження про те, що важчі тіла падають швидше.

24. На цю ситуацію пізніше посилаються також Декартові *Principia* і Ляйбніцові *Specimen Dynamicum* (Dosch ed., Meiner, Hamburg, 1982).

25. Галілео вважав, що припливи й відпливи спричиняє обертання Землі. Насправді припливи й відпливи є наслідком обертання Землі й місяцевого тяжіння (див. далі).

26. Ref. [8], Part II, XXXVII: *Prima lex naturae: quod inaeque res, quantum in se est, semper in eodem statu perseveret; sicque quod semel movetur, semper moveri pergit* (Перший закон природи: Кожна річ полишена на самоті зберігає свій стан, відтак якщо її раз зрушити, вона продовжує рухатися).

27. Ref. [8], Part II, XXXIX: *Alter lex naturae: quod omnia motus ex se ipso sit rectus; ... (Другий закон природи: кожен рух сам у собі відбувається по прямій...)*

28. Ref. [8], Part IV, XLIX.

29. У його “Пробірнику” (II *Saggiatore*; див. покл. [29]) Галілео ще 1623 року писав, що книгу природи написано мовою математики (тобто геометрії).

кої матерії” (*materia subtilior*), що творить “первинний елемент” (*elementum primum*). Ця модель заперечувала існування порожнього простору й заповнювала, а навіть постулювала простір між окремими частинами матерії. Рух планет Декарт також пояснював через рух тонкої матерії: згідно з ним, планети довкола Сонця рухають вихрі тонкої матерії. За допомогою вихрової моделі Декарт намагався пояснити також і припливи, і відпливи²⁸.

Картину всесвіту, що її Декарт розробив у частинах II та III *Начал філософії*, можна окреслити такими твердженнями:

- Порожнього простору не існує; простір складається з матерії.
- Всі тіла складаються з однієї і тієї ж матерії.
- Численні різновеликі частки матерії заповнюють увесь простір.
- Матерія безконечно подільна, отже, атомів не існує.
- Оскільки Бог досконалий, то можна припустити, що на початку Він поділив матерію на майже рівні частки, здійснивши певний круговий рух; цей круговий рух утворює вихори.
- На початку частки мусили мати кути (сфери залишили б у просторі порожнечі).
- Через рух (що спричинив і підтримує Бог) ці частки набули більш-менш круглої форми через стирання; найменші з цих часток утворили своєрідну тонку матерію, що заповнює решту простору.
- Вихровий рух пояснює розташування і рух планет.

Останній абзац (CCVII) *Начал філософії* показує Декартові сумніви щодо реакції Церкви [8]:

Однак я підкорю усі свої погляди владі Церкви.

Щоб не дозволити собі забагато, я не стверджую нічого, але подаю усі мої погляди на владу Церкви і розсуд людей мудріших за мене; і не хочу, щоб будь-хто вірив у те, що я сказав, якщо тільки сила і свідчення розуму не змушують їх це визнати.

4. НЬЮТОНОВІ “НАЧАЛА”

Ньютонова широка концепція математичної натуральної філософії²⁹ на зламі XVII–XVIII століть, а також його підставове припущення про всесвітнє тяжіння, з яких виплила концепція світової системи, є зразковими для розвитку науки.

Ньютонові “Начала” – унікальне, видатне творіння, хоч і спочиває воно “на плечах велетів”³⁰, декілька з яких ми вже згадували. Праця Ньютона представляє погляд, альтернативний до Декартового (у його *Principia Philosophiae* [8]). Зокрема Ньютон заперечував вихрову теорію руху планет.³¹ Ціла сфера явищ, рух зір у сонячній системі, пов’язана з єдиною силою: силою тяжіння. Кажуть, що Ньютонів архітектур не було б опубліковано, якби не астроном Едмунд Галлей (1656–1742). Саме він заохотив Ньютона видати книгу, і взяв на себе видатки, пов’язані з виданням.

30. “Якщо мені вдалося побачити далі, то це тому, що я стою на плечах велетнів” (І. Ньютон у листі до Р. Гука, 1676 р.).

31. Див. кінець книги II “Начал” Ньютона [28].

32. Перший закон Ньютона: “*Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum suum mutare*” можна порівняти із першим і другим законами природи Декарта (див. примітки 26 і 27).

33. “Абсолютне відношення” Ньютона (тобто граничне значення відношення) можна відстежити у низці праць Архімеда (а навіть Евкліда), у яких автори підходять до кривих через послідовність багатокутників із дедалі більшою кількістю прямих частин. Абсолютні відношення Ньютона є підставою для його аналізу флюксії. Разом із диференціальним численням Ляйбніца, аналіз Ньютона є витком математичного аналізу.

УКЛАД “НАЧАЛ”

За побудовою Ньютонові “Начала” безперечно наслідують Евклідові “Начала”. Праця починається з вісьмох Означень, за якими ідуть три знамениті Аксіоми або ж:

ЗАКОНИ РУХУ³²:

1. Будь-яке тіло зберігає свій стан спокою або ж однорідного прямолінійного руху доти, доки застосовані до нього сили не змушують його змінити цей стан.

2. Зміна руху завжди пропорційна застосованій рушійній силі; і відбувається у напрямку прямої лінії, вздовж якої застосовано цю силу.

3. Кожна дія завжди спричиняє протилежну й рівну протидію: тобто взаємна дія двох тіл одне на одне є завжди рівною і спрямованою у протилежні боки.

Далі слідує три книжки.

У першій книжці через застосування законів руху за відомими силами визначаються орбіти, і навпаки. Книжка починається з одинадцяти Лем, вони стисло пояснюють результати нової теорії Ньютона про відношення зникло малих величин³³ і потрібні для розуміння написаного далі. Після цього Ньютон представляє першу проблему у:

Твердженні I:

Площі, що їх описують проведені до нерухомого центру сили радіуси тіл, які обертаються, лежать у тих самих нерухомих площинах і є пропорційними до часу, за який їх описано.

Отже, Ньютон загалом стверджує, що до сил, які рухають тіло до нерухомого центра, застосовний другий закон Кеплера. Доказ цього ствердження ґрунтується на Законах і Лемах. Як і в решті тексту “Начал,” геометричні відношення між величинами застосовуються для того, щоб виразити певну величину в термінах інших величин; ці відношення виводяться із рисунків (т. зв. геометричний метод).

Друга книга зосереджується на рухові в середовищі, що чинить опір (газі або рідині). Книга закінчується запереченням Декартових вихрів як причини руху тіл.

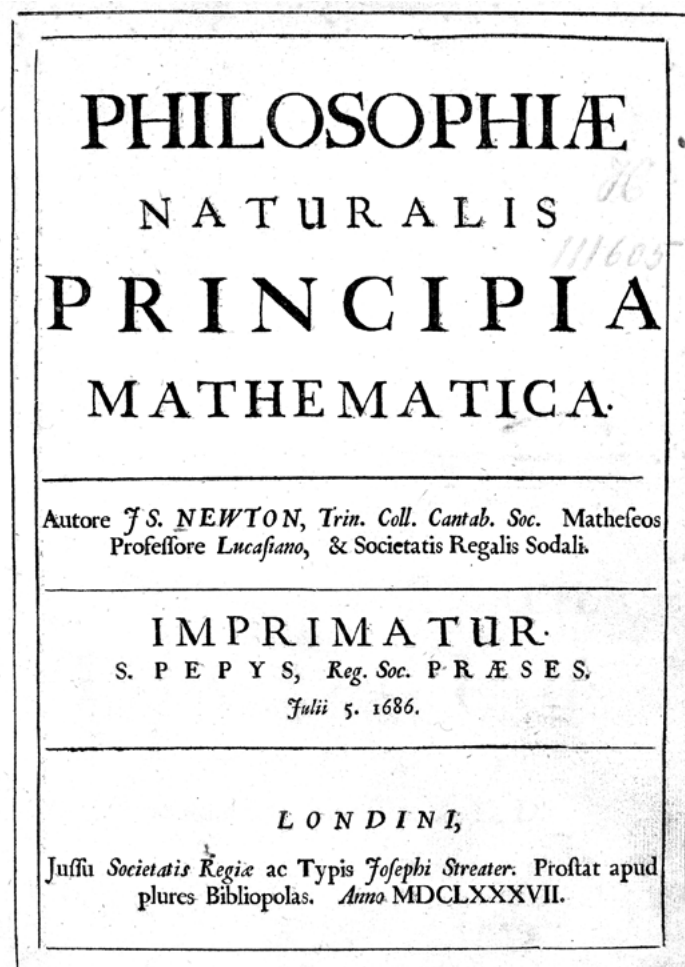


Рис. 4. Титульна сторінка першого видання “Начал” Ньютона (Лондон, 1687 р.).

ВСЕСВІТНЄ ТЯЖІННЯ

У третій книжці Ньютон спершу представляє перелік явищ у світовій системі, а відтак висновує з них його закон всесвітнього тяжіння:

Сила тяжіння між двома тілами є пропорційною добутку Маси 1 на Масу 2, поділеному на квадрат відстані між ними.

Або ж, якщо виразити це за допомогою математичних символів:

$$F \propto m_1 \times m_2 / r^2.$$

Цю силу витворюють маси, вона діє на маси; вона визначає рух мас, а отже, відповідає за теперішній і майбутній стан планетарної системи³⁴. Із законів природи та сили тяжіння Ньютон розвиває систему світу, тобто рух планет і їхніх місяців. Крім того, він пояснює форму Землі (несферичну через обертання), а також припливи й відпливи (наслідок впливу Місяця).

Метою Ньютона було пояснити природу (а саме: механіку, гідродинаміку, астрономію), виходячи з низки підставових законів. Теми другої книги “Начал,” а також Ньютонове пояснення форми Землі та припливів і відпливів стали першим поштовхом до вивчення гідродинаміки. Дивним чином, ця галузь фізики досягла задовільного стану розвитку доволі пізно.

5. ПЛОДИ “НАЧАЛ”

Численні ідеї, подані в “Началах” Ньютона, зрештою було розроблено, але не в тих формах, у яких їх подавав Ньютон. На їх вирішення знадобилося потужніше знаряддя математичного аналізу. До того ж, Ньютонову систему світобудови доповнено поясненнями її виникнення у теоріях Канта та Лапласа.

5.1 АНАЛІТИЧНА МЕХАНІКА

Через застосування нової математичної мови Ляйбніца – математичного аналізу – механіку Ньютона розширено й перетворено на аналітичну механіку Леонгарда Ойлера, Жозефа Луї Лагранжа та П’єра Симона Лапласа. Посутньо відповідають за це перетворення такі праці:

34. На практиці можна обчислити лише рух щонайбільше двох мас. Для визначення вже навіть трьох взаємодіючих тіл доводиться застосовувати методи наближення. Зрештою, у 1960-х роках виявилось, що рух більш ніж двох тіл може бути хаотичним, тобто фактично непередбачуваним; це підважило віру в “годинникову” модель Всесвіту (Peterson [32]).

35. Лаплас згадує також вплив Сонця, завдяки якому тварини і рослини заселяють Землю. На його переконання, на інших планетах з іншими температурами, ймовірно, існують інші форми організації.

• *Mechanica sive motus scientia analytice exposita* (Механіка, або Наука про рух в аналітичному викладі) Ойлера (1736 р. видання, 2 томи, покл. [11]), перша книга, присвячена розвитку Ньютонової теорії руху (книги I та II його *Principia*); містить численні розв’язані задачі та приклади.

• *Mécanique analytique* (Аналітична механіка) Лагранжа (1796 р. видання, покл. [19]), суто аналітичне представлення статички (рівноваги сил) та динаміки (теорії руху тіл) без жодного рисунка.

• *Traité de mécanique céleste* (Трактат про небесну механіку) Лапласа (1799–1825 рр. видання, 5 томів, покл. [22]), вельми повне й деталізоване пояснення системи світобудови, третьої книги Ньютонових *Principia*; книга містить практично все, що мало наукове пояснення на той час.

Ці книжки зробили натуральну філософію Ньютона доступнішою; у цій формі вона стала підґрунтям сучасної фізики.

5.2. ТЕОРІЯ КАНТА-ЛАПЛАСА

Теза про постання Сонячної системи із туманності, що її незалежно одне від одного запропонували І. Кант та Лаплас, називається теорією Канта-Лапласа.

Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels Kanta (Загальна природнича історія та теорія небес, 1755 р. видання, покл. [15]) є поясненням його ідей про механічне походження світу. Кантова космогонія – перша серйозна неміфологічна концепція еволюції у європейській культурі (написана за століття до Дарвінового *Походження видів!*): до Ньютонової теорії того, як працює світ, Кант додав припущення про те, як він постав. Його еволюція Всесвіту складається із припущень, що ґрунтуються на Ньютонових “Началах” та низці визначних властивостей планетарної системи. Останню частину присвячено роздумам про мешканців зірок.

Exposition du système du monde (Виклад системи світу) Лапласа (1796 р. видання, покл. [21]) – головню, опис системи світобудови. Ці твердження є наслідками його розуміння у точному прогнозуванні системи світобудови, що задокументовано у *Трактаті про небесну механіку* [22]. “Виклад” є чітким і стислим резюме цього розуміння без жодної формули чи рисунка. Тоді в останньому розділі своєрідним попереднім висновком Лаплас представляє свої міркування з приводу походження світу³⁵.

Точний опис планетарної системи, що його знаходимо у *Трактаті про небесну механіку*, переконав Лапласа у слушності давньої картини всесвіту як годинникового механізму. Він висловив це переконання у *Essai philosophique sur les probabilités* (1814 р. видання, покл. [23]):

Ніщо не було б невизначеним для розуму, що у будь-яку окрему мить знає усі одномоментні розташування усіх речей, з яких складається всесвіт; майбутнє і минуле стояли б перед його очима.

Здавалося, загадку “Всесвіту” розкрито. Коли йому поставили відповідне запитання, Лаплас відповів: “Бог – у цій гіпотезі для мене немає потреби”. Для Ньютона, Бог ще мусив час до часу втручатися і дбати про Всесвіт, щоб зберігати його закономірність³⁶.

Рівно ж як і Лаплас, Кант розпочав із визначних властивостей і співвідношень планетарної системи, і виснував, що вони не випадкові, але мусять мати спільну причину³⁷, а саме “підставову матерію,” що обертається (Кант) або “туманну матерію” (Лаплас).

6. XVIII–XIX СТОЛІТТЯ: ПОСТАННЯ СУЧАСНИХ НАУК

У цей час постали нові науки: біологія та хімія. До зібраних до того часу знань додалася система причинових зв'язків між предметами цих наук.

6.1 ХІМІЯ

Алхімію – традицію з назвою арабського походження – можна відстежити навіть до доантичних часів. Серед її новітніх практиків натрапляємо й на Ісаака Ньютона. На загальну думку, момент виокремлення хімії з алхімії можна закріпити³⁸ за з'явою Скептичного хіміка Роберта Бойля (Лондон, 1661 р., покл. [3]). Цю працю написано у формі діалогу, що відбувається головню між двома особами: Карнеадом (скептиком; постаттю, з якою себе ототожнював сам Бойль) та Елевтерієм. Бойль спростовує ранішу хімію і прагне встановити більш науковий метод, за допомогою експериментів, ставлячи під сумнів, зокрема, традиційні вчення³⁹. Він пропагує існування і важливість елементарних речовин. Вважається, що Бойль у своїй книзі запропонував також гіпотезу про те, що матерія складається з атомів

36. *Остання Scholium generale Начал* [28].

Усвідомлення у XX столітті можливості хаотичної (тобто фактично непередбачуваної) поведінки у рівняннях, що керують рухом планет, знищило віру в “годинниковий” всесвіт.

37. *Особливості планетарної системи у підсумуванні Лапласа:*

- Орбіти планет лежать практично в одній і тій самій площині, і є майже колоподібними.
- Всі планети рухаються у тому самому напрямку. Сонце обертається у тому ж напрямку.
- Усі їхні супутники (місяці) рухаються в тому ж напрямку, а також у площині планетарних орбіт.

- Разом із Сонцем усі [ці тіла] обертаються в тому ж напрямку довкола осі обертання, що перебуває під майже прямим кутком до площини орбіт. Для Лапласа “ці явища не можуть бути наслідком випадку; мусить бути спільна причина”. Закономірності пояснюються величезною атмосфероподібною рідиною, що оберталася довкола Сонця і зрештою обвалилася і утворила поверхню Сонця. Перед цим існувала туманність із матерії, що оберталася

(а отже, була пласкою), у центрі якої було Сонце.

38. Б. Рассел [34] дотримується думки, що Бойль поклав край “фокус-покусу” алхімії і повернувся до атомів Демокріта.

39. Наприклад, Аристотелеве визначення тепла: “Збирати речі подібної і відділяти речі відмінної природи” (Передмова до покл. [3]).

40. Див. твердження I та II у першій частині Скептичного хіміка [3]. Однак не є “неможливим” те, що елементи складаються із “найдрібніших мас або скупчень” (Твердження II, с. 31). Крім того: Така найдрібніша частка, “корпускула золота і ртуті ... не є первинним злутком найдрібніших часток матерії”.

41. “... Бо якщо ми припишемо корпускулам, з яких складається кожен елемент, конкретний розмір і форму, то легко встановити, що такі частки різноманітних форм можуть поєднуватися у настільки різних співвідношеннях, і у настільки різні способи, що з них може скластися майже неймовірна кількість скупчень із різними якостями” (Перша частина, покл. [3]).

42. Пор.: примітка 38.

(“найдрібніших часток”⁴⁰). Це відповідає істині лише частково. Хоча він стверджує, що експерименти не підтверджують підставовості ані чотирьох перипатетичних начал (землі, води, повітря та вогню), ані трьох “хімічних принципів” алхімії (ртуті, солі та сірки), він однаково стверджує, що найменші “корпускули” мають різну форму, чим пояснюється розмаїття речовин⁴¹. Така постава нагадує атомізм Демокріта.⁴²

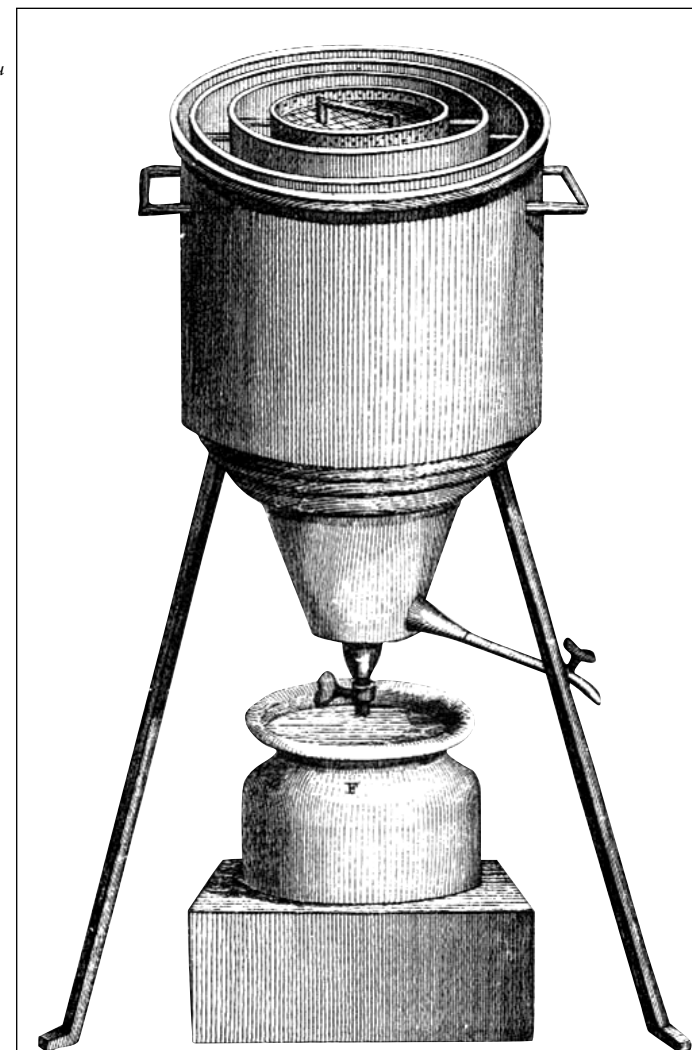


Рис. 5. Калориметр, яким користувався Лавуазьє (рис. із покл. [24]).

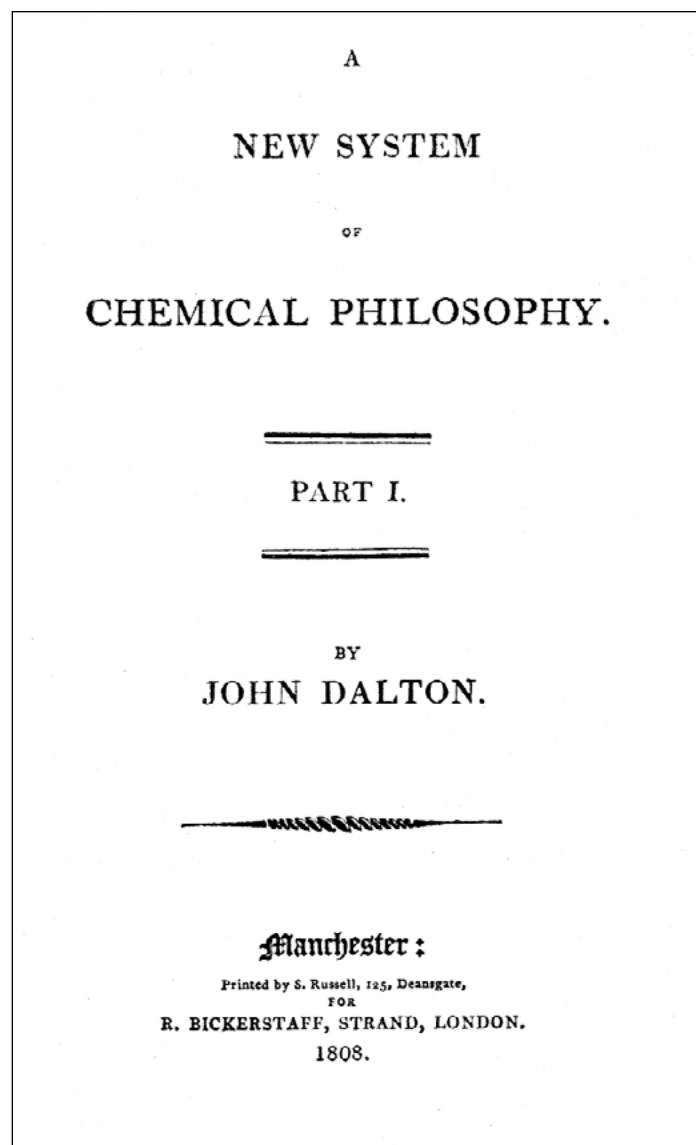
6.1.1 ХІМІЯ ЛАВУАЗЬЄ

Traité Élémentaire de Chimie (Елементарний трактат про хімію) Антуана Лавуазьє (1789, покл. [24]) представляє його дослідження хімічних реакцій⁴³. Книга містить численні прекрасні ілюстрації, застосованого в експериментах обладнання, у виконанні мадам Лавуазьє (пор. рис. 5). З власного досвіду Лавуазьє висновує свій знаменитий закон збереження маси⁴⁴ у хімічних реакціях. Цей закон – важлива обмежувальна умова для реакцій. Крім того, розробляючи “номенкла-

43. Праця складається з трьох частин. Першу присвячено утворенню і розкладанню газів (починаючи із фаз та їх перетворень), згоранню простих тіл та утворенню кислот; другу – поєднанню кислот та лугів і утворенню нейтральних солей; третю – описові приладів та дій у хімії. Лавуазьє відстоює ідею речовини – калорика, – що представляє внутрішнє тепло, кількість якого відповідає за вигляд відповідної речовини в одній із можливих фаз. Однак Лавуазьє показав, що тепло не відіграє ролі у збільшенні або зменшенні ваги у хімічних реакціях – на противагу теорії флогістону.

44. Збереження маси мало значення також у переході від алхімії до хімії. Відкриття цього закону проклало стежку поняттю хімічних елементів. Лавуазьє розпочав розмову про масу під декількома оглядами, наприклад, в експерименті,

Рис. 6. Титульна сторінка «Нової системи хімічної філософії» Дальтона, Лондон, 1808 р.



у якому фосфор поглинає кисень у процесі згорання: результуюча маса дорівнює сумі початкових мас фосфору та поглинутого кисню.

45. Раніше його досліди з водяною парою та газами привели до теорії про воду і змішані гази. Настіди-ком став його закон парціальних тисків: У суміші газів у певному об'ємі кожен складник здійснює такий самий тиск, який здійснював би, якби об'єм було заповнено лише ним.

Рис. 7. Періодична таблиця Дальтона (з покл. [5]).

туру хімії”, він запроваджує поняття про елементи як речовини, які не розкладаються на простіші, “щоб виразити наше уявлення про остаточну стадію, до якої може дійти аналіз”. Однак він відмовляється від спекуляцій про “складові та елементарні частки матерії” з огляду на дуже “метафізичні” дискусії про кількість та природу елементів, що передували йому.

ELEMENTS										Plate 4	
Simple											
1	2	3	4	5	6	7	8				
9	10	11	12	13	14	15	16				
		17	18	19	20						
Fig.	1 Hydrog.; its rel. weight				1	11 Strontites	46				
2	Azote				5	12 Barytes	68				
3	Carbon or charcoal				5	13 Iron	38				
4	Oxygen				7	14 Zinc	56				
5	Phosphorus				9	15 Copper	56				
6	Sulphur				13	16 Lead	95				
7	Magnesia				20	17 Silver	100				
8	Lime				23	18 Platina	100				
9	Soda				28	19 Gold	140				
10	Potash				42	20 Mercury	167				

6.1.2 ХІМІЧНА ФІЛОСОФІЯ ДЖОНА ДАЛЬТОНА

Вирішальний крок здійснив Джон Дальтон, коли пов'язав відмінність елементів із різницею у вазі атомів.⁴⁵ Його тривалі дослідження питомих теплоемностей (тобто теплозберігання) різних речовин дали йому змогу віднести зміни питомої теплоемності з температурою на карб “нового укладу або розташування її найменших часток”. Йому вдалося встановити відносну вагу атомів з “відносної ваги простих речовин [тобто елементів], що утворюють складні речовини”. Також він запропонував першу періодичну таблицю речовин, яку опублікував 1808 року у *Новій системі хімічної філософії* [5]. Частина 1 містить його загальні роздуми про “тепло чи калорик” та склад тіл і речовин; частину 2 присвячено конкретним елементам та речовинам.

Підсумування нової концепції наведено у короткому третьому розділі першої частини, що має назву “Про хімічний синтез”. Дальтон висуває теорію, за якою [5]:

- Речовини складаються з простих елементарних часток (атомів) різної ваги: “... найменші частки усіх

однорідних тіл абсолютно однакові за своєю вагою, формою тощо. Іншими словами, кожна частка води подібна на кожну іншу частку води; кожна частка водню подібна на кожну іншу частку водню тощо”.

- Кожен хімічний елемент складається з атомів одного типу. Таким чином, атомну вагу можна вивести з відносної ваги елементів. У процесі хімічної реакції атоми не змінюються. Звідси Дальтон створив першу таблицю із двадцятьох елементів (сьогодні ми маємо їх близько 118).

- Частки складних речовин утворюються шляхом поєднання елементарних часток, наприклад: “1 атом А + 1 атом В = 1 атом С, бінарний ...”

Деякі з відносних атомних ваг Дальтона помилкові; серед інших помилок він описує “атом” (молекулу) води як поєднання *одного* атома кисню й *одного* атома водню. Однак варто пам’ятати, що маємо справу із початком систематичних досліджень, коли властивість речовини бути елементарною або ні часто ще не була визначеною. Серед елементів Дальтон перелічує також вапно.

1 H																	2 He	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	57-70 *	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89-102 **	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub	113 Uuq					
*Lanthanide series		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb			
** Actinide series		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No			

Ці основи періодичної системи елементів надали об’єднувальну ідею, що перетворила алхімію на хімію; “..., видання ... *Нової системи хімічної філософії* 1808 року поклало початок хімічній революції XIX століття ...” (цит. за передмовою А. Джозефа до видання 1964 р. [5]).

Систему Дальтона у 1868–1870 роках розширив Д. І. Менделєєв (1834–1907). Року 1869 Менделєєв передба-

Рис. 8. Сучасна періодична таблиця елементів.

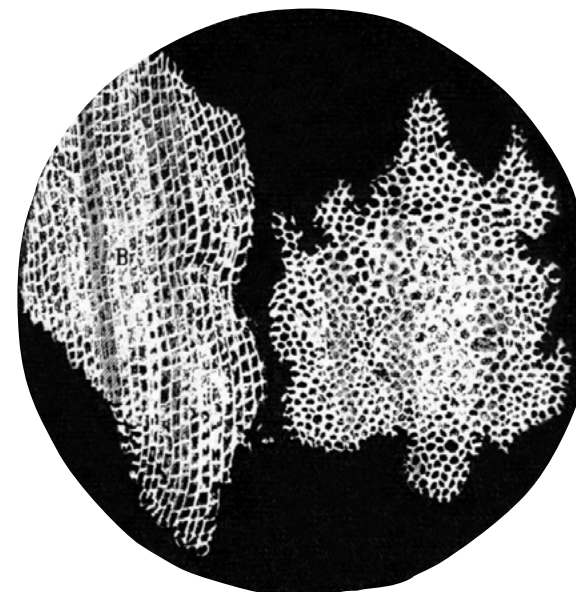


Рис. 9. Ілюстрація з праці Гука, що показує його спостереження за скибочкою корка через мікроскоп [14].

чив існування нових елементів на підставі прогалин у його періодичній таблиці.

6.2 БІОЛОГІЯ

Систематичних досліджень, що стосувалися б зростання і вмирання істот у природі в античний період, майже нема. Початок постійного розгляду пов’язаних із ними проблем можна відстежити лише до 1665 року і у *Micrographia* (*Мікрографії*) Роберта Гука [14]. *Мікрографія* – детальний опис його спостережень за різними організмами⁴⁶ за допомогою мікроскопа, який він розробив; ці спостереження супроводжують численні прекрасні креслення. Добре знаним є Гуків опис клітин у тонкій скибці корка (див. Рис. 9).

6.2.1 СИСТЕМА ПРИРОДИ ЛІННЕЯ І ТЕОРІЯ ЛА-МАРКА

Перший крок до становлення біології як науки 1735 року зробив Карл Лінней, написавши свою *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*⁴⁷ (*Систему природи*) [25]. Лінней організував тварин, рослини й мінерали в ієрархічну систему класів,

46. Остання частина містить також спостереження за нерухомими зорями і Місяцем через телескоп. Варто згадати також Гукове відкриття багатократно-го заломлення атмосфери.

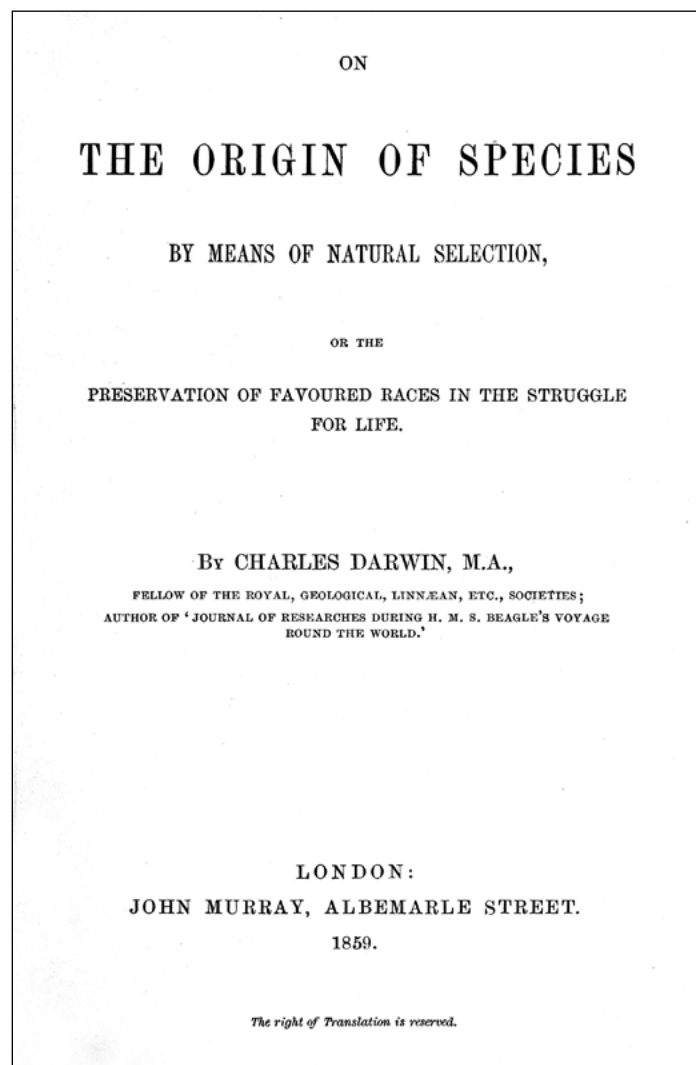
рядів, родів та видів. Крім того, він написав книжку, назва якої містила слово “філософія”: 1752 року вийшла його *Philosophia Botanica* (Філософія ботаніки) [26], що роз’яснювала його біноміальну номенклатуру в ботаніці.⁴⁸

Однак незмінність природи (творіння) далі вважалася чимось самоочевидним. Цю думку поставив під сумнів Жан-Батист Ламарк. Із його досліджень над тваринами та рослинами (з урахуванням і вже вимерлих видів) постала ідея походження. Року 1809 у праці *Philosophie zoologique* (Зоологічна філософія) [20] він представив теорію еволюції, покладаючись головню на свої дослідження над безхребетними (комахами та хробаками). Зокрема Ламарк відкрив два закони:

47. Система природи через три царства природи, за класами, рядами, родами і видами, з характеристиками, відмінностями, синонімами, місцями. *Перше видання Systema naturae вийшло 1735 року в Нідерландах. На той час праця налічувала одинадцять сторінок. На час 10-го видання книжки (1758) вона класифікувала 4 400 видів тварин і 7 700 видів рослин* (Вікіпедія).

48. У працях Ліннея ще є теми і спостереження, які нині не вважають частиною біологічної науки (як-от, фармакологія і численні інші більш сумнівні впливи рослин та мінералів на людей (див., наприклад, *Systema naturae* [25], с. 251, а також *Philosophia Botanica* [26] Ch. XII, Potencies).

Рис. 10. Титульна сторінка першого видання Походження видів Дарвіна (Лондон, 1859 р.).



49. Видання Походження видів стало доволі поспішною процедурою. Коли Дарвін вже багато років збирався видавати працю, 1858 року в нього раптом з'явився суперник: А. Р. Воллес, який надіслав Дарвінові стислу статтю з аналогічними ідеями. Відтак прийнято рішення, що статтю Воллеса разом із викладом основних тез планованої книги Дарвіна варто представити на наступній зустрічі товариства Ліннея.

50. Фраза “Вживання найпристосованіших” (Survival of the fittest) належить Г. Спенсерові. Він вжив її у своїх Принципах біології (Principles of Biology, 1864). Спенсер навіть паралелі між своїми ідеями з економіки і “природним відбором” Дарвіна. Починаючи з цього видання Походження видів (1869), присвячений природному відбору розділ називався “Природний добір або виживання найпристосованіших”.

51. Див. передмову Е. Кестнера до біографії Коперника пера Г. Кестена: K. Desch, München, 1953.

52. Автор невідомий.

1. У кожної тварини часте використання певного органу зміцнює і розвиває цей орган, тоді як постійне невикористання послаблює орган і зменшує його можливості.

2. Особини, органи яких змінюються відповідно до першого закону, через вплив довкілля передають ці зміни своїм нащадкам.

Саме другий закон спричинив до себе підвищену увагу й контроверсійність.

6.2.2. ПОХОДЖЕННЯ ВИДІВ ДАРВІНА

З 1831 по 1836 роки Дарвін брав участь у місії британського корабля “Бігль” із розвідування і дослідження узбережжя низки країн. Ця експедиція подарувала молодому чоловікові великий шанс, яким він скористався: коріння праці усього його життя – особливо його знана теорія природного добору – сягає досвіду, що його він здобув під час цієї експедиції. У 1859 році він видав⁴⁹ свою працю *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* (Про походження видів шляхом природного добору, або Збереження обраних рас у боротьбі за життя) [6].

Чільна ідея Походження видів Дарвіна, представлена у розділі 4, – добір видів через “виживання найпристосованіших”⁵⁰. Його висновки ґрунтуються на розмаїтті численних чинників, як-от, геологічні дані або географічне поширення. Існує відоме ствердження, за яким Коперник змістив Землю разом із Людиною із її місця в центрі всесвіту,⁵¹ а Дарвін змістив Людину з її чільного місця у природі⁵². Вже 1844 року він дав своїй дружині попередню версію книжки, і попросив опублікувати її у разі його смерті.

Дарвін прагнув уникнути конфлікту із думкою релігійної громадськості тієї вікторіанської доби. Тому він майже 15 років зводив з публікацією своєї головної праці. Звісно, після публікації він чув багато критики з того боку. Походження видів Дарвіна викликало величезний громадський резонанс: численні дискусії, заперечення і схвалення. Частково таку реакцію можна пояснити простотою Дарвінового письма – у праці трапляється лише низка технічних термінів – а також тим, що тема була близькою до загального інтересу й побоювань.

Друга відома праця Дарвіна – *Походження людини і статевий добір*, що з'явилася 1871 року (покл. [7]). Вона представляє Дарвінову теорію статевого відбору у трьох частинах: Походження людини, статевий добір (серед тварин), статевий добір серед людей, а також висновки.

Дві праці – *Походження видів* та *Походження людини* написано цілковито різними стилями. Друга з них повниться примітками, покликами, виносками та ілюстраціями; у першій нічого цього немає.

Саме об'єднавче бачення Дарвінового *Походження видів* започатковує біологію як науку; його бачення і закони, що керують еволюцією, наведено як висновок в останньому абзаці книжки ([6], курсив наш):

“Цікаво споглядати зарослий берег, оздоблений численними розмаїтими рослинами, із співочими птахами на кущах, різними комахами, що літають довкола і хробаками, що повзають у сирій землі, і думати про те, що постання цих майстерно побудованих форм, настільки відмінних одна від однієї, і настільки складно переплетених і взаємозалежних, є наслідком законів, що діють навколо нас. У найширшому сенсі, цими законами є *Зростання* з розмноженням; *Спадковість*, яка майже впливає з розмноження; *Змінність* внаслідок непрямого і прямого впливу зовнішніх обставин життя, а також використання і браку використання; пропорція приросту настільки висока, що призводить до *Боротьби за життя*⁵³, і, як наслідок, до *Природного добору*, що передбачає відмінності в характері, а також Вимирання менш удосконалених форм. Отже, найбільш піднесена із мислимих для нас тем, а саме постання вищих тварин безпосередньо впливає з війни у природі, із голоду та смерті. У такому баченні життя, з його різними виявами, які постали з невеликої кількості форм, або навіть з однієї, є велич, як і у тому, що поки ця планета продовжувала свій рух відповідно до незмінних законів тяжіння, з настільки простого джерела еволюціонували й еволюціонують безкінечні найпрекрасніші та найдивовижніші форми”.

6.2.3 ЕКСПЕРИМЕНТИ МЕНДЕЛЯ

Ця стисла оповідь про становлення біології як науки закінчується відсиланням до ще однієї важливої праці – *Versuche über Pflanzenhybriden* (*Експерименти*

53. Деінде у книзі Дарвін вживав переважно слова “боротьба за виживання”.

54. Його дослідження засвідчило, що одна горохова рослина з чотирьох мала чисті рецесивні алелі (тобто децю модифіковані гени), дві були гібридами, а одна – чистою домінантною.

55. Відтепер виникнення нових теорій можна було відстежити лише до статей у журналах і часописах, а не до книжок. Ці нові ділянки згодом представляли у підручниках.

56. Мені відомий лише один виняток. У 1930 році М. Борн та П. Йордан опублікували свою *Elementare Quantenmechanik* (Елементарну квантову механіку), у якій запропонували матричну механічну версію квантової механіки, що її вони винайшли спільно з В. Гайзенбергом. Їхня спроба зазнала невдачі. “Офіційною” формою квантової механіки судилося стати конкуруючій версії механіки хвиль Шредингера.

57. Книгу про теорію великого вибуху можна було б назвати *Про походження Всесвіту, таким чином відверто нав'язуючи до Дарвінового* *Про походження видів*.

над гібридизацією рослин, [27]) Грегора Менделя. Свою працю він представив 1865 року на двох засіданнях Товариства природознавства м. Брюнн (Брно) у Моравії. Між 1856 та 1863 роками Мендель виростив і провів випробування близько 30 000 рослин гороху (*Pisum sativum*)⁵⁴. Із своїх експериментів він вивів два закони, знані як закони спадковості Менделя. Коли 1866 року його стаття вийшла друком у *Verhandlungen des Naturforschenden Vereins in Brünn* (*Записках природознавчого товариства Брюнна*), вона не була особливо значущою, і впродовж наступних тридцяти п'яти років на неї покликалися лише близько трьох разів. У той час стаття зазнала критики, але нині вважається основоположною працею. Менделеві закони спадковості – істотний, підставовий внесок у заснування біології.

7. ЕПІЛОГ: ДОЗРІВАННЯ НАУК

Можна вважати, що закладення фундаменту природничих наук закінчилося у другій половині XIX століття. Фізика, яка передувала, здавалося, досягла своєї вершини: у першій половині XIX століття до її наукової споруди додалася теорія електродинаміки Максвелла⁵⁵. Опублікований 1873 року *A Treatise on Electricity and Magnetism* (*Трактат про електрику і магнетизм*) Джеймса Клерка Максвелла – остання з великих праць, що поклали початок новій царині фізики⁵⁶. У другій половині XIX століття Дж. К. Максвелл, Л. Больцман та Дж. В. Гіббс заповнили останню прогалину у фізиці, започаткувавши статистичну фізику для того, щоб пояснити макроскопічний вигляд матерії з її складників, атомів. Відтепер розвиток фізики як науки видавався практично завершеним. На загальну думку, залишалося прибрати лише дрібні проблеми й неузгодженості. Однак детальний розгляд цих проблем привів до постання найновіших фізичних теорій – теорії відносності і квантової механіки.

Відповідно картина світу, що її створили Ньютон і Лаплас, змінилася. Теорії відносності та квантової механіки також привели до нового розуміння еволюції нашого всесвіту – теорії великого вибуху, що впливала із сучасних фізичних теорій полів і матерії у просторі та часі, а не із припущень Канта і Лапласа⁵⁷.

Успішні методи й фізична тематика принесли з собою прагнення застосувати її понятійний апарат також

до астрономії і біології; через додавання до цих наук деяких фізичних понять постали астрофізика і біофізика. Характерним для розвитку науки загалом є те, що і астрофізика, і біофізика розширили або навіть і замінили радше дескриптивні та класифікуючі науки (знання у сенсі вступу) астрономії та біології. Хімія також змогла скористати з неймовірного поступу у фізиці, через спорідненість цих наук. Хімія завжди застосовувала поняття з фізики, і навіть донині існує плідний обмін ідеями між цими двома науками. Одним із прикладів такого обміну є Нобелівська премія з хімії за 1998 рік, яку отримав фізик В. Кон за його опис багаточастинкових систем у термінах квантової механіки, що дає змогу досягти значно ефективніших обчислень властивостей системи.

Однак й інші науки скористали з дієвих методів фізики⁵⁸, зокрема статистичної фізики. В економіці постала нова ділянка екофізики. Статистичні методи фізики знайшли застосування у численних галузях, пов'язаних із ризик-менеджментом, як-от страхування.

ОСТАННЄ СЛОВО

Я намагався окреслити зародження і розвиток природничих наук. Ці науки вивільнилися від впливу філософії (під прискіпливим наглядом богослов'я), чи, точніше, доктрини Римської Церкви. Дійсність – точніше найновіша картина дійсності – важлива передумова і для філософії, і для богослов'я. Однак дослідження дійсності і змалювання якомога точніших картин дійсності належить до завдань саме природничих наук. Нині наука досягла своєї зрілості, і ми можемо спостерігати певний поворот у стосунках між природничими науками, з одного боку, і філософією та богослов'ям з іншого. Природничі науки більше не залежать від філософії чи богослов'я, більше не є їхніми служницями; тепер вони мусять іти услід за поступом науки і постійно переосмислювати свої системи відповідно до ходи наукового розуміння.

58. *Карикатуру про зловживання ідеями й термінами фізики створила містифікація А. Сокаля 1996 року (Transgressing the Boundaries: Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity, Social Text #46/47 (Duke University Press, 1996)).*

ДОДАТОК

ТАБЛИЦЯ ДАТ ЖИТТЯ (1)

(Наведені біографічні дані – приблизні)

Фалес (624–546)
Піфагор (530–497)
Демокріт (460–370)
Платон (429–348)
Аристотель (384–322)
Евклід (365–300)
Архімед (287–212)
Герон (10–75)
Птолемей (100–175)

ТАБЛИЦЯ ДАТ ЖИТТЯ (2)

Коперник М. (1473–1543)
Галілео Г. (1564–1642)
Кеплер Й. (1571–1630)
Декарт Р. (1596–1650)
Бойль Р. (1627–1692)
Гук Р. (1635–1703)
Ньютон І. (1643–1727)
Ляйбніц Г. (1646–1716)
Ойлер Л. (1707–1783)
Лінней К. (1707–1787)
Кант І. (1724–1804)
Лагранж Ж. Л. (1736–1813)
Лавуазьє А. (1743–1794)
Ламарк Ж.-Б. (1744–1829)
Лаплас П. С. (1749–1827)
Дальтон Дж. (1766–1844)
Дарвін Ч. (1809–1882)
Мендель Г. (1822–1884)
Менделєєв Д. І. (1834–1907)

ЛІТЕРАТУРА

ОРИГІНАЛЬНІ ПРАЦІ

1. *Archimedes, Werke, Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt 1983; The Works of Archimedes, English translation by Thomas Heath and Sir Thomas Heath, Dover, New York 2003.*

2. *Aristotles, Physik, Greek/German, ed. R. Nölle, Books on Demand, 2009.*

3. Boyle R., *The Sceptical Chymist, reprint of the 1661 edition*, Dover, New York 2003.
4. Copernicus N., *On the Revolution of Heavenly Spheres*, Transl. by C. G. Wallis, Prometheus Books, Amherst 1995.
5. Dalton J., *A New System of Chemical Philosophy, reprint of part 1, The Citadel Press, New York 1964.*
6. Darwin Ch., *On the Origin of Species, reprint of the first edition 1859*, Wildside Press, Holicong 2003.
7. Darwin Ch., *The Descent of Man, Penguin Classics, London 2004.*
8. Descartes R., *Principia philosophiae, Amsterdam 1644; bilingual edition (Latin-German), F. Meiner, Hamburg 2005.*
9. Euclid's *Elements of Geometry*, Transl. by J. Keill, London 1723.
10. Euklid, *Die Elemente, German translation by C. Thaer, Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt 1980.*
11. Euler L., *Mechanica sive Motus Scientia Analytice exposita, Opera Omnia, series II, vols. 1 and 2, Teubner, Leipzig 1912.*
12. Galilei G., *Dialogue concerning the two chief world systems, Transl. by Stilman Drake, Modern Library, New York 2001.*
13. Galilei G., *Dialogues Concerning Two New Sciences, Transl. by H. Crew and A. de Salvio, Dover, New York 2003.*
14. Hooke R., *Micrographia, or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies, reprint of the 1665 edition, Cosimo Classics, New York 2007.*
15. Kant. I., *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels, W. Engelmann, Leipzig 1898.*
16. Kepler J., *Mysterium Cosmographicum – The Secret of the Universe, bilingual edition, Transl. by A.M. Duncan, Abaris Books, Norwalk 1999.*
17. Kepler J., *Astronomia Nova, German Transl. by M. Caspar, Marix Verlag, 2005.*
18. Kepler J., *The Harmonies of the World, Transl. by E.J. Aiton and A. M. Duncan, American Philosophical Society, 1997.*
19. Lagrange J.-L., *Mécanique analytique, Mallet-Bachelier, Paris 1853.*
20. Lamarck J., *Zoologische Philosophie, German translation by H. Schmidt, Kröner Verlag, Leipzig 1910.*
21. Laplace P.-S., *Exposition du système du monde, Fayard Paris 1984.*
22. Laplace P.-S., *Celestial Mechanics, English translation by N. Bowditch (1829–1839), Chelsea, reprint 1966.*
23. Laplace P.-S., *Essai philosophique sur les probabilités, Courcier, Paris 1814.*
24. Lavoisier A., *Elements of Chemistry, English translation of the Traité Élémentaire de Chimie by R. Kerr, Dover, New York 1965.*
25. Linnæus C., *Systema naturae, 6th edition, Stockholm 1748.*
26. Linnæus C., *Philosophia Botannica, translated into English by S. Freer, Oxford University Press, Oxford 2007.*

27. Mendel G., *Versuche über Pflanzenhybriden, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1940.*

28. Newton I., *Philosophiae naturalis principia mathematica, London 1687; English translation by A. Motte, The Principia, London 1726; reprint: Prometheus Books, Amherst NY 1995.*

29. Stillman Drake, *Discoveries and Opinions of Galileo, Anchor Books, New York 1957.*

ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА

30. Heath T., *A History of Greek Mathematics, Clarendon Press, Oxford 1921.*

31. Lindberg D. C., *The Beginnings of Western Science, The University of Chicago Press, Chicago 2007.*

32. Peterson I., *Newton's Clock – Chaos in the Solar System, Freeman, New York 1993.*

33. Rouse Ball W. W., *A Short Account of the History of Mathematics, Macmillan & Co, London 1919 (Reprint: Scholarly Publishing Office, Univ. of Michigan Library 2005).*

34. Russell B., *Wisdom of the West, Macdonald, 1970.*

35. Russell B., *History of Western Philosophy, Routledge, 2008.*

36. Russo M., *The Forgotten Revolution, Springer, Berlin 2004.*

БІОГРАФІЇ

Щодо авторів чотирьох підставових книжок: майже нічого невідомо про Евкліда Александрійського. Про життя Ньютона і Дарвіна написані численні книжки. Я наводжу лише два поклики:

Ньютон: R. Westfall, *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press 1998.

Дарвін: J. Browne, *Darwin's Origin of Species. A Biography*, Atlantic Books 2006.

Авторові пошуки біографії Дальтона були марними; вдалося знайти лише стислі біографії в інтернеті.

Автор не шукав розлогих біографій інших осіб, що згадані в тексті статті. Стислі біографії їх усіх можна знайти в інтернеті.

БІБЛІОТЕКИ, КНИЖКИ ТА ІДЕЇ*

Райнгард Фольк

*Інститут теоретичної фізики,
Університет Йогана Кеплера, Лінци, Австрія*

1. Зерна великих відкриттів оточують нас звідусіль, але вони марно падають на ґрунт невідготовленого духу, і проростають лише там, де попередні дослідники підготували ґрунт для прийняття, і там, де пробудилася сприйнятливість до їх значення.
Й. Ф. В. Гершель

2. Підручники подібні до давніх друзів. У тих із них, які зберігаєш, криються підказки до таємниць твоєї душі. Повторне ознайомлення з тими із них, котрих певний час не бачив, часто накликає ностальгію й меланхолійність, гадку про те, яким ти був колись, і яким вже не є, але яким міг би стати натовість.
Вільям Кларк

Der Same zu großen Entdeckungen umgibt uns überall, allein er fällt vergeblich auf einen unvorbereiteten Geist, und keimt nur da, wo vorhergehende Untersuchungen den Boden zu seiner Aufnahme bearbeitet haben, und die Aufmerksamkeit zur Wahrnehmung seines Werthes geweckt worden ist.

J. F. W. Herschel^[1]

Textbooks are like old friends. The ones you keep hold secrets to your soul. Reacquaintance with those you have not seen for some time often brings nostalgia and melancholy, the sense of what you once were, and are not now but might have been instead.

William Clarke^[2]

1. ВСТУП

Бібліотеки колекціонують та зберігають книжки, а книжки містять і зберігають знання своїх часів. Книжки – джерела для вивчення певної наукової галузі; з них ми можемо відстежити історичний розвиток ідей, що ведуть до нинішнього розуміння. У цій статті нас цікавить фізика; як приклад із фізики, я розглядаю розвиток нашого розуміння руху пожбуреного в повітря каменя. Це розуміння пов'язане з підставовими питаннями на кшталт: “Що таке простір?”, “Що таке час?”, “Чи існує вакуум, та що це таке?”, а також “Що таке маса?” – питаннями, які залишаються без відповідей від початків науки в часи давніх греків.

Я вивчав фізику, а саме теоретичну фізику у Віденському університеті. Коли 1973 року я закінчив свою дисертацію, університет надав мені академічний ступінь ‘doctoris philosophiae’, оскільки фізику треба було вивчати на філософському факультеті, а філософія вважалася матір'ю усіх наук. Документ, що його я отримав, був написаний латиною.

Нині колишній факультет філософії поділено на декілька факультетів: одним із них є факультет фізики, іншим – факультет математики, ще одним – факультет філософії та освітніх наук. Це відображає становище різних галузей науки в наш час.

Фізика виявилася основою для нашого розуміння світу, а також для розвитку технологій. З одного боку, засадничі результати у фізиці є чимось таким, що нам сьогодні годі уявити (хто може уявити чотиривимірний простір; хто може уявити собі, що щось може бути часткою або хвилею залежно від обставин, за яких ми його спостерігаємо; хто може уявити, на що подібне поле; хто може уявити, від чого тіло стає важким?). З іншого боку, ми здатні формулювати фізичні твердження мовою математики, або ж розв'язувати складні задачі, принаймні за допомогою комп'ютера. Лише невелика група дослідників працює над засадничими питаннями, тоді як прикладне застосування фізики як основи наших технологій та стандарту життя вимагає зусиль дедалі більшої кількості фізиків.

Фізика поширилася і на інші галузі, як-от, науки про життя, економіку, суспільні науки, а навіть культурологію. Отож цілком адекватним видається широке розуміння фізики – розуміння, яке, можливо, наближається до того значення, яким термін послуговувався в античні часи.

Навчальна програма “природничих наук” (Naturlehre) на факультеті мистецтв Віденського університету [3], як він називався у середині XIV століття, містила лекції з “фізичних праць” (libri physicorum) Аристотеля, а також з *Metaphysica*, *Meteora* та *De Coelo*. Студенти читали також книжки Йогана Пекама і Птолемея. Всі знання черпали з книжок.

Цікаво, що у своєму начерку історичного прогресу поглядів на походження видів Дарвін згадує Аристотеля та його *Фізику* [4], попри те, що Дарвін відкидав ідею телеології. Однак він вважав Аристотеля “одним із найвеличніших ... спостерігачів усіх часів” (1879), давнім еквівалентом великого модерного систематизатора й великого модерного прибічника компаративного функціонального роз'яснення водночас.

2. ЛЕКЦІЇ З ФІЗИКИ ВІД АРИСТОТЕЛЯ (384–322 Р. ДО Р. Хр.)

Те, що Аристотель написав рукопис названий *Фізика* [5, 6, 7], було новиною і для мене, і для власника книгарні, у якого я замовив вісім томів цієї праці. Перше замовлення зазнало невдачі, оскільки замість книжок із *Фізики* я отримав книжки з *Метафізики*. У розумінні книготорговця “фізика” автоматично змінилася на “метафізику”, пов'язану з філософією та Аристотелем.

Але звідки нам знати, що Аристотель думав про *Фізику*? За Страбоном – грецьким істориком, філософом та географом, – Аристотель був власником першої великої приватної бібліотеки у Давній Греції. Ця бібліотека містила основи його мислення з приводу освіти та наукової діяльності. Найсуттєвіше, ця бібліотека ще існувала в часи Страбона, у I столітті до Р. Хр. Рукописні копії Аристотелевих лекцій, зроблені для внутрішнього вжитку його школи, зібрали його учні й передали одному зі своїх – Теофрастові (оповідь Страбона, с. 608; Plutarch, Sulla 26, 1). Від нього лекції потрапили до Нелея Скепського. Нащадки Нелея тримали книжки у сховищі, оскільки боялися бібліоманії царя Пергамону, який саме будував власну велику бібліотеку. Відтак у I ст. до Р. Хр. книги знайшов бібліофіл Апелікон Теоський, який купив їх, привіз до Афін, і намагався створити видання, але зазнав невдачі. Після цього Апеліконова бібліотека потрапила з Сулли до Рима як здобич. Тут Тираніон намагався редагувати праці, і знову марно. Видання, яке стало джерелом усіх наступ-

Рис. 1. Ліворуч: Аристотель пише рукопис *Фізики*. Праворуч: Codex Vindobonensis philosophiae graeci 100, що написав грецький мінускул у Візантії (близько 850 р. (Взято із [10]).



них видань, створив Андронік Родоський у I ст. до Р. Хр. Каталог Аристотелевої бібліотеки, що містив 400 книг, зберіг Діоген Лаертський, 106 із цих книг – *Corpus Aristotelicum*, тобто текст шкільних лекцій [8, 9].

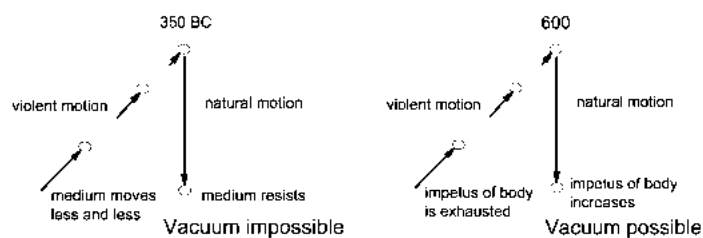


Рис. 2. Траєкторія пожеженого каменя: (i) за Аристотелем, (ii) за Філономом.

Найдавніші знані рукописи *Фізики* походять із X століття (тобто між смертю Аристотеля і часом їх існування минуло дванадцять століть [10]). Існують також античні коментарі *Фізики*, але вони походять приблизно із 350-х років. Три коментарі зберігаються у Прусській академії у Берліні: *In Aristotelis Physica Paraphrasis* Темістія; коментарі Йоана Філопона (VI ст.); коментарі Симплікіуса (VI ст.). Існують також візантійські, арабські та латинські (середньовічні) рукописи, серед яких Михаїл Пселлос (XI ст.); Тома Аквінський (*Octo Libros Physicorum Aristotelis*). До того ж, існує видання *Opera* Аристотеля від XV ст. грецькою мовою, що надрукував Альдус Мануцій між листопадом 1495 і червнем 1498 року.

Щоб запропонувати спільну філософську або фізичну тему для книжок, які ми розглядаємо, дозволю собі взяти з величезного обсягу матеріалу одну невелику, але суттєву деталь – розглянути Аристотелеву “теоретичну” інтерпретацію руху ядра. (i) Існує природний рух ядра, внаслідок якого зміщене зі свого місця ядро повертається назад. Ядро рухається униз до землі. (ii) Окрім природного руху, існує також силуваний рух (він потребує зусиль на кшталт штовхання або тягнення). Отже, якщо ядро запущене так, як зображено на Рис. 2, то рушієм ядра є сила (зіткнення між рукою і ядром), але оскільки ядро рухається у повітрі, то здійснюється тиск і на повітря, а протидія на ядро змушує його рухатися доти, доки цей обмін взаємодіями не вичерпається, і ядро не продовжить свого природного руху до землі. Крім того, Аристотель стверджував, що без середовища (повітря) – тобто у вакуумі – ядро рухалося б із нескінченною швидкістю; а оскільки нескінченності як такої існувати не може, то у природі не

може існувати й вакууму.

Варто зазначити, що поняття “природного” руху містить думку про те, що тіло саме у собі прагне рухатися до свого природного місця. Це означало б, що тіло падає на поверхню землі не через земне тяжіння, а через прагнення тіла досягти на поверхні свого остаточного пункту призначення.

Посутньо (за низкою винятків і постійної суперечки на підставі пояснення Аристотеля (див. розділ 5)), таке уявлення про об’єкти у русі було актуальне до Галілео. Філопон Александрійський (VI ст.) не погоджувався з Аристотелем у цій справі. Він вважав, що рух ядра незалежний від середовища, у якому воно рухається; що ядро отримує “імпульс” від металника, і цей імпульс поступово зменшується. Однак такі ідеї не змінили поширеної думки з цього приводу.

Наше розуміння дає підстави інтерпретувати механіку Аристотеля як рух у середовищі, що чинить опір. У такому випадку необхідна сила для підтримання незмінної швидкості руху; інакше рух припиняється. Однак існує вид руху, за якого причина руху об’єкта незрозуміла – сила тяжіння у той час була незнаною, а отже, домінувала думка про те, що природний рух залежить від властивостей предмета – того, важкий він, чи легкий. У Ньютонівій механіці сила потрібна для того, щоб змінити значення або напрямок швидкості руху, але не тоді, коли рух відбувається із сталою швидкістю.

Природний рух в етері (нім. “Himmelsluft”) – це круговий рух, який описує рух планет у небі. Відтак тоді вважали, що земна механіка відрізняється від механіки небесної.

3. СТВОРЕННЯ БІБЛІОТЕК: БЕРН ДІБНЕР (1897–1988)

Доля книжок Аристотеля свідчить, наскільки важливо тоді й донині копіювати книжки, а також колекціонувати їх приватно чи в установах. Прикладом створення такої бібліотеки може слугувати Бібліотека Дібнера, що має ім’я від свого творця Берна Дібнера. Дібнер народився 1897 року в Україні, а 1904 року його родина емігрувала до Сполучених Штатів. Там він 1921 року здобув освіту і став електроінженером. Б. Дібнер займався удосконаленням методів поєднання електричних провідників і нажив свої статки завдяки створенню

ренню 1924 року Інженерної компанії Бернді. Окрім керування своєю компанією, його цікавила історія винахідництва й особливо постать Леонардо да Вінчі. Відчуваючи скептицизм щодо надзвичайно широких обдарувань Леонардо, описаних у літературі, він вирішив власноруч дослідити це питання і почав вивчати науку доби Відродження, збирати книжки на цю тему. Зрештою його зацікавлення розширилися і привели до створення Бібліотеки Дібнера й публікації понад ста книжок та статей. Заснована 1941 року бібліотека не лише містила колекцію книжок, але через своє розташування на території Масачусетського Інституту Технологій (МІТ) стала центром досліджень з історії науки. Сьогодні Бібліотеку Дібнера закрито, а її фонди передано бібліотеці, що її створив Генрі Е. Гантингтон. Ця знаменита бібліотека постала внаслідок колекціонування не лише книжок, але й цілих зібрань книжок. Об'єднуючи бібліотеки, томи-дублікати усували й повертали на букіністичний ринок. Дублікати з Бібліотеки Дібнера продано з аукціону 2006 року [11], і нещодавно їх знову запропонував на продаж букініст [12].

Берн Дібнер – автор важливого твору про наукові книги *Провісники науки (Heralds of Science)* [13]. Ця книга представляє дві сотні епохальних книжок і зшитків, що їх Дібнер зібрав у своїй бібліотеці. З одного боку, такі каталоги мають вагу для збирачів книжок і книготорговців; з іншого – подібні бібліографії також важливі для історії науки. Описи книжок у збірці Дібнера обґрунтовують їхню винятковість і значення для розвитку науки, як і те, чому їх варто колекціонувати. У передмові до першого видання 1955 року Дібнер писав: *Друкована книжка є продуктом технології того часу. Вона зберегла історію революційних інновацій, що перетворили наше уявлення про світ і космос, у якому ми живемо. Знати ці книжки – все одно, що читати історію людства, і події, що привели до цих епохальних змін.*

Однак такі списки криють і небезпеку ототожнення розвитку науки зі стрибками від одного спалаху до іншого, і забуття ваги сталого розвитку давніх і підготовки нових ідей. Дібнер добре усвідомлював ці обмеження. Мета колекціонера та історика науки – заповнити прогалини й вирафінувати історію розвитку науки через концентрацію галузі й періоду, що розглядаються. Такий процес дає змогу зрозуміти, що іноді нові ідеї витворюють різні люди практично одночасно – внаслідок чого постають суперечки про першість та

оригінальність публікацій. В інших випадках такі інциденти залишаються невідомими ширшій спільноті науковців, і простежуються лише тоді, коли історики переглядають неопубліковані папери науковця, або ж через щасливий збіг обставин знаходять у старій бібліотеці втрачені книжки.

4. АРХІМЕД (БЛ. 287–212 Р. ДО Р. Хр.) І ДЖЕРЕЛА МАТЕМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ

На аукціоні Крістіз у Нью-Йорку 29 жовтня 1998 року приватному колекторові продано книжку за два мільйони доларів. То була єдина книжка, яку виставляли на аукціон того дня, і називалася вона *Палімпсест Архімеда*. У каталозі [14] її оголошено так:

АРХІМЕД (бл. 287–212 до Р. Хр.). *Про рівновагу площин; Про плаваючі тіла; Метод механічних теорем; Про спіральні лінії; Про сферу і циліндр; Про вимірювання кола; Стомахіон*, усі – грецькою. РУКОПИС ПАЛІМПСЕСТ НА ПЕРГАМЕНТІ (Текст згори: *Еухологіон*, грецька мова, XII століття)

ВІЗАНТІЙСЬКА ІМПЕРІЯ, ЙМОВІРНО КОНСТАНТИНОПОЛЬ, ТРЕТЯ ЧВЕРТЬ X СТОЛІТТЯ

Цей рукопис був добре знаним. Данський науковець Й. Л. Гейберг видав своє перше видання праць Архімеда 1880 року, застосовуючи для цього пізні копії, що їх він знайшов у Флоренції, Парижі та Венеції. Однак 1906 року, коли Палімпсест щойно знайшли, Гейберг виявив серед інших текстів цілком новий трактат, жодної відомої копії якого будь-якою мовою до того не існувало. Дослідник проаналізував нові рукописи (звісно без доступних сьогодні нових технік, які дають змогу відчитати велику частину тексту, нерозбірливого для Гейберга) і помістив їх у цілком нове видання праць Архімеда, яке вийшло друком 1910 року.

Гейберг не перший, хто побачив рукопис у церковній бібліотеці. Бібліст Константин Тишендорф 1846 року відвідав Метохіон, щоб дослідити релігійні тексти. Він не знайшов нічого особливо цікавого, “за винятком Палімпсесту про математику”. Тишендорф не усвідомив ваги своєї знахідки, однак, (за незрозумілих обставин) здобув одну сторінку з книжки, яку після його смерті продано Кембриджському університету в Англії, де вона зберігається досі.

Однак унаслідок Першої світової війни і подальших воєн, коли 1921 року Туреччину проголошено суверенною, ніхто не міг гарантувати збереження бібліотеки Метохіона Гробу Господнього у Стамбулі, і 890 праць надіслано до Національної бібліотеки Греції. До місця призначення зрештою доставлено лише 823 томи, серед яких Палімпсесту не було. Кажуть, що рукопис потрапив до рук невідомого французького колекціонера і до 1998 року офіційно його вважали втраченим.

Більшість праць Архімеда в пізніших копіях стосується чистої математики, однак *Про плаваючі тіла і Метод* – праці, які поєднують чисту математику з роздумами з фізики. Іншими словами, лише завдяки свідченню Палімпсеста нам вдалося скласти нове й повніше уявлення про Архімеда. До образу Архімеда, відомого нам з описів істориків – винахідника, інженера, грайливого мислителя – можна тепер додати образ, що постає з його ж писання, і так побачити цілісну, потужну особистість.

Дивним чином, на противагу іншим книгам – наприклад, Евклідовим, чиї тексти застосовували у навчальній програмі з математики у Віденському університеті – твори Архімеда не згадуються як книжки, що застосовували у лекціях. Цікавою у цьому контексті є заувага Дікстергюса [15]. Архімед послуговувався математичними та фізичними аргументами, щоб вивести об'єм тіл. Оскільки він не вважав ці обчислення математично точними, то не вважав їх гідними, щоб помістити у своїх опублікованих працях.

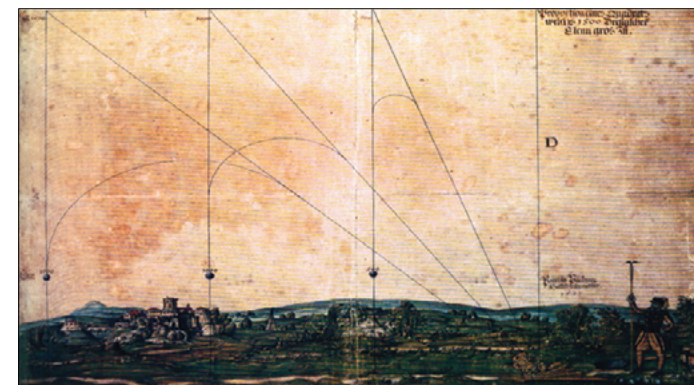
Хоча Архімедові методи обчислення центра ваги протяжних тіл лягли в основу математичного аналізу, для того, щоб розвиток цих ідей продовжився до математичного аналізу Ньютона та Ляйбніца, довелося чекати аж до 1544 року. Того року в Базелі Йоган Герваген видав друком *Opera Omnia* – грекою і латиною [16]. Це видання (editio princeps, перше видання) ґрунтується на грецькому рукописі, що його одержав в Римі німецький гуманіст Віллібальд Піркгаймер, і що нині перебуває у бібліотеці міста Нюрнберга (MS Cent. V 12). Джерелом цього рукопису є грецький рукопис з IX ст. (збірка авторства Леона Тесалонікійського), нині втрачений [17], але знаний як манускрипт А, що застосовувався для латинського перекладу з XIII ст. у виконанні Вільяма Мербеке. Друковане видання безпосередньо з манускрипта А (у зіставленні з текстом Мербеке) 1450 року підготував Джакопо да Кремона для Папи Мико-

лая V. Один примірник надіслано також кардиналові Бессаріону. Згодом 1468 року цей примірник скопіював і зредагував Реджіомонтанус (Йоган Мюллер), який подорожував із кардиналом до Рима. У редакції він зіставляв текст із грецьким рукописом, що також належав Бессаріонові. Реджіомонтанус привіз свій рукопис з Рима до Відня, а тоді до Нюрнберга, і нині він також у бібліотеці міста Нюрнберг (MS Cent. V 15). Саме його рукопис застосовано для латинського тексту. Це видання містило всі знані на той час праці Архімеда. До нас не дійшла праця про рух, однак існує припущення, що якби Архімед здійснив таке дослідження, то воно випередило б знахідки Галілео [18]; до того ж, його вважають науковим батьком Ісаака Ньютона; саме він проклав шлях для *Principia* і сучасного наукового синтезу [19].

5 БАЛІСТИКА – НАУКА ПРО РУХ ПОЖБУРЕНИХ ТІЛ

Уявлення про рух кинутого тіла мали і надалі мають практичний інтерес. По-перше, вони важливі для військових цілей і побудови металевих машин. Аристотелеве уявлення було уявленням телеологічним, у якому тіло, так би мовити, шукає свого “природного” місця, якщо його з цього місця зрушило насилля (я не вживаю поняття “сила”, оскільки воно з'явилося значно пізніше, а “насилля” краще пасує до антропологічної концепції Аристотеля). У середньовіччі, а також серед мусульманських науковців, точилася довга суперечка про те, якою мірою “вплив” металевика змінює стан тіла (Філопон (VI ст.); Авіценна (980–1037); Франциско де

Рис. 3.
Траєкторія ядра за Сантбахом (1561) та Тарталья (1537).



Марсія (1290–1344); Йоган Буридан (1295–1358); Томас Бредвардин (1295–1349)).

На противагу Аристотелеві (а також із значно більшою долею ймовірності, хоч і все ще хибно) Філопон припускав, що снаряд рухається завдяки “кінетичній силі,” яку йому надає рушій, і яка вичерпується у плині руху. Філопон порівнює цей імпульс або ж безтілесну рушійну *energeia* (як він її називає) з діяльністю, що її раніше приписували властивості “легкості”. Інтерпретувавши так рух снаряду – як наслідок імпульсу – Філопон зміг переосмислити роль середовища: воно не лише не відповідає за продовження руху снаряда, але і є для нього перешкодою [20]. На цій підставі Філопон виснував (на противагу Аристотелеві), що ніщо не заважає нам уявити рух у порожнечі. Що ж до природного руху тіл, що падають у середовищі, то Філопон спростував Аристотелів висновок про те, що швидкість пропорційна вазі тіл, які рухаються, і непрямо пропорційна густині середовища, звернувшись до такого ж стибу експерименту, що про нього століттями пізніше (див. далі) говорив Галілео [20].

Значно пізніше Бредвардин запровадив в емпіричні науки кількісні математичні методи. У праці *De proportionibus velocitatum in motibus* (1328) він застосував теорію пропорцій до співвідношень швидкості, “імпульсу,” та опору. Однак навіть 1561 року Сантбах [21] ще стверджував, що ядро рухається спершу по прямій, аж доки його швидкість не вичерпується, а тоді падає донизу (див. Рис. 3). Вже давніше Ніколо Тарталья, а згодом Гуальтьє Рівіус видозмінили твердження Сантбаха. Вони стверджували, що ядро спершу рухається по прямій лінії, тоді вздовж кругової дуги, а коли траєкторія стає перпендикулярною до поверхні землі, падає. Насправді Тарталья стверджував, що пряма лінія вже є наближенням до кривої траєкторії [22]. Крім того, він визначив максимальну дальність польоту ядра для гармати, поставленої під кутом 45° .

6. ГАЛІЛЕО (1564–1642), РУХ НА ЗЕМЛІ І ПРОТИ АРИСТОТЕЛІАНІЗМУ

Галілео спершу наслідував ідеї Аристотеля, але згодом змінив свою думку і заснував нову механіку: в рукописі *De motu* (1589) [23] він ще відстоював теорію “імпетусу”, але у *Discorsi* (1637/38) [24] він дав правильне пояснення руху каменя чи ядра.

Спершу він розглянув рух падаючого тіла й експериментально встановив, що його швидкість пропорційна часові падіння. Відтак він спромігся математично вивести, що шлях пропорційний квадрату часу падіння. Наступним кроком для тіла, запущеного паралельно до поверхні землі, він поєднав рух падаючого тіла і вільний перпендикулярний рух (див. Рис. 5), за якого шлях пропорційний часу. Поєднавши ці два рухи, він отримав відому нам параболу.

Для аристотеліанців ідея порожнього простору суперечить тому, що ми спостерігаємо при метанні певного об’єкта. Завданням для науковців після Галілео було створити вакуум, щоб довести, що всі тіла падають з однаковою швидкістю. У наданні переваги теоретичному аргументу над наївною видимістю полягала революційність мислення Галілео.

Однак таке розуміння не цілком слушне, оскільки Симон Стевін (1548–1620) проводив експерименти з падінням тіл ще 1586 року. Про ці експерименти йдеться у додатку до першого видання його *Weeghconst* [25]. Там написано (цит. за [26]): “Досвід проти Аристотеля такий: візьмімо ... дві свинцеві сфери, одна з яких удесятеро більша й важча за іншу, і киньмо їх водночас ... Тоді побачимо, що легша з них не падатиме вдсятеро довше, ніж важча, а натомість вони разом впадуть на дошку, настільки одночасно, що звук від двох їхніх ударів здаватиметься одним ударом. Те ж саме спостерігається ... з тілами однакового розміру, тяжіння яких перебувають у співвідношенні один до десятих; отже, раніше згадане твердження Аристотеля – хибне”.

Іншими словами, всі спостерігали інше твердження Аристотеля, за яким пір’їна падає значно повільніше, ніж камінь. Однак у першому “дні” його *Discorsi* Галілео стверджував інакше (щодо тіл з однаковою точною вагою). Дозволю собі окреслити його аргумент. Припустімо, що швидкість падаючого тіла є тим більшою, що важче тіло; припустімо також, що важче тіло поєднає з легшим. Тоді падіння об’єднаного тіла швидше за падіння легшого, але повільніше за падіння важчого. Однак тіло важче за його складники, а отже, мусить падати швидше, ніж обидві частини. Втім це суперечить нашому припущенню, отже, всі тіла падають з однаковою швидкістю.

Що сталося? Теоретичним роздумам надано більше ваги, ніж тому, що спостерігається у природі; звідси, для того, щоб показати “справжні” закони, варто підго-

тувати відповідні умови. Саме у цьому **підтвердженні теоретичної концепції в акуратно заданих умовах і полягає природа експерименту** (“всі тіла падають незалежно від їхньої ваги”, якщо цього закону не приховує вплив на їхнє падіння інших умов на кшталт опору і плавучості). Звісно, аргументація Галілео ґрунтувалася на екстраполяції того, що можна відтворити за допомогою відповідної низки експериментів. Звернімо увагу на падіння тіла в різних середовищах щораз нижчої густини (див. перший день *Discorsi*).

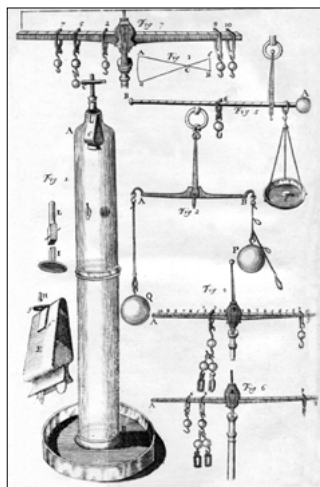


Рис. 4. Ліворуч: Астронавт Дейв Скотт 1971 року демонструє висновок, який Галілео зробив 1638 року, і що його 1650 року довів Еміль Маріотт у своєму експерименті з гінеєю і пір'їною. Праворуч: рисунок з книжки Гравезанда Математичні начала натуральної філософії з експериментальним підтвердженням, або Вступ до філософії сера Ісаака Ньютона, який ілюструє експеримент Маріотта у порожньому скляному циліндрі.

Отже, Галілео зробив два важливі для сучасної фізики кроки: (i) він зробив точні прогнози на підставі теоретично-математичних міркувань, (ii) він запропонував спосіб підтвердити ці прогнози експериментальним методом, а також (iii) він навів аргументи, чому простий досвід не демонструє цього “істинного” закону.

Галілео попросив у Торічеллі створити вакуум, щоб довести свій прогноз, але саме Маріотт провів експеримент першим. Вільямс писав у своїй *Історії науки* [27]: Одночасно з Бойлем цими питаннями займався чоловік, чие прізвище зазвичай згадується поруч із прізвищем Бойля у зв'язку із законом густини газів, уродженець Бургундії Едм Маріотт (пом. 1684 р.). Маріотт продемонстрував, що за відсутності опору атмосфери, усі тіла, незалежно від їх ваги або густини, падають з однаковою швидкістю. Він довів цю думку шляхом добре знаного експерименту з гінеєю і пір'їною. Випомпувавши повітря з довгої скляної труби, у яку поміщено монету вартістю в одну гінею і пір'їну, він показав, що в утвореному таким чином вакуумі обидва предмети падають з однако-

вою швидкістю щоразу, як перевернути трубу. На Рис. 4 зображено прилад, який став частиною стандартного обладнання у кожному курсі з природничих наук. Широка всевітня аудиторія змогла побачити цей експеримент, коли 15 липня 1971 року астронавт Скотт впустив на поверхню Місяця молоток і пір'їну.

Зазвичай кажуть, що сучасна наука бере свій початок від Галілео, який замінив аристотелівський досвід експериментом. Це робить важливим вимірювання і кількісне формулювання виміряного. Зазвичай Галілео цитують у цьому сенсі, див. однак [28]. Він також сказав: *Закони природи написані мовою математики ... [іх] знаки – це трикутники, кола та інші геометричні фігури, без допомоги яких неможливо зрозуміти бодай одне слово.*

До того ж, розвиток у галузі астрономії приніс нам ідею, яку у своїй праці *Astronomia Nova* висловив Кеплер: причиною руху планет є їх взаємний вплив одна на одну [29]. Подібні ідеї сформулював Отто фон Геріке у праці *Experimenta nova* (1672) [30]. Сили діють на інші тіла через вакуум. Природа цих сил була незрозумілою, або ж їх вважали магнітними або електричними. У *Principia* (1687) Ньютон постулював гравітаційну силу як силу, що діє на тіла у порожньому (абсолютному) просторі [31].

7. DISCORSI І ДЕНЬ П'ЯТИЙ

Discorsi – надзвичайна книга. Макс фон Ляуе написав передмову до німецького видання 1938 року з нагоди трьохсоті річниці виходу книги, у якому назвав працю першим підручником з фізики [32]. Справді, у *Discorsi* підсумовано знання і досвід, що їх Галілео здобув за все життя наукових досліджень. Ляуе пояснює зміст книги й обговорює деякі її частини. Зокрема він розглядає Галілеєву аргументацію того, чому всі тіла падають з однаковою швидкістю. Ляуе цілком слушно зауважує, що аргумент Галілео видається аргументом чистої логіки, який не може бути правдивим при розгляді емпіричних фізичних питань. Саме тоді, коли Галілео стверджує, що повільніше тіло стримує швидше тіло, настає черга спостереження (експерименту).

Прискіпливе дослідження *Discorsi* та пов'язаних рукописів здійснено у [33]. Галілеїв власний примірник першого видання *Discorsi* містить численні виправлення, примітки і доповнення, переважно додані рукою

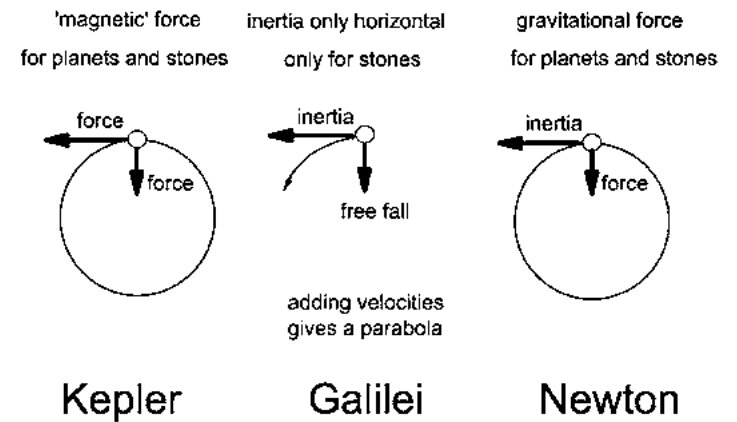
його учня Вінченціо Вівіані. Ймовірно, ці примітки для доповненого видання принаймні частково належать самому Галілею; однак, вочевидь, їх вписав Вівіані (можливо, й інші учні) через дедалі більшу сліпоту Галілео в останні роки життя. На жаль, *Discorsi* так і не опубліковано зі змінами, вказаними у примітках, радше через неможливість встановити, які з цих приміток авторизував Галілео, а які Вівіані вписав самочинно лише після смерті науковця.

Discorsi містять розмови з чотирьох днів, що виливаються у чотири розділи. Однак книга закінчується можливістю наступної зустрічі. Уже незрячий Галілео продовжив свою роботу і додав п'ятий та шостий дні. Лише слабке здоров'я перешкодило йому здійснити цей план, і день п'ятий недописаний. Розлога чернетка цієї частини п'ятого дня збереглася і вийшла друком у пізнішому виданні повного зібрання творів Галілео; точний час її написання залишається невідомим. Однак вона відповідає початковій обіцянці наступного "дня" на початку дня четвертого. Якою була доля п'ятого дня після того, як 1638 року *Discorsi* нарешті опубліковано? Коли в березні 1641 року Галілео побачив *Трактат про рух* Торічеллі [35], то зрозумів, що Торічеллі не лише спромігся розв'язати деякі з ключових проблем теорії руху снаряда Галілео (як-то визначення параболічної форми траєкторії руху тіла, кинутого під кутом до горизонту), але і розробив прилад, який допоможе артилеристам скористати з цього розуміння. Відтак, замість того, щоб написати новий трактат, що займався б новими проблемами фізики (на кшталт перкусії), Галілео вирішив консолідувати досягнуте і заходився відшліфувати дедуктивне підґрунтя своєї теорії руху [33].

І лише 1632 року Бонавентура Кавальєрі, розглянувши проблему руху запущеного снаряду, у *La spechio Ustorio overo Trattato delle Settioni Coniche* [36] надав математичний доказ того, що траєкторія має форму параболи [37]. Учні Галілео, Торічеллі та Кавальєрі, досягли більших успіхів у розгляді принципів інерції та накладання незалежних рухів у загальному випадку, ніж їхній вчитель – винахідник цих принципів [34].

На Рис. 5 зображено порівняння уявлень про рух, починаючи від Кеплера, який вважав, що для того, щоб втримувати планети на орбіті, необхідні "сили" дотичні та перпендикулярні до траєкторії. Галілей не мав окремої від Аристотеля ідеї про планетарний рух, однак зрозумів, що траєкторію тіла можна встановити через накладання

Рис. 5. Різні моделі руху (i) траєкторія планет за Кеплером, (ii) рух тіла, кинутого паралельно до поверхні землі, і (iii) рух планет відповідно до Ньютонового закону тяжіння.



паралельного вільного руху (руху за інерцією, без прикладання зовнішньої сили) і силуваного руху, що його описує вільне падіння, перпендикулярне до земної поверхні. Ньютонові належало усвідомити всі наслідки принципу інерції та суперпозиції для руху на Землі та у космосі.

Варто зауважити, що закон параболи для горизонтально кинутого тіла та закон вільного падіння відкрив також Томас Герріот ("англійський Галілео"); однак, він не спромігся правильно описати рух тіла, кинутого під кутом до горизонту [38]. Це веде до загальнішого питання про розвиток наукового знання. Традиційний шлях полягає у поширенні результатів у публікаціях (книги, згодом наукові журнали) і сприйнятті у спільноті інших науковців. Цей шлях є видимим шляхом, однак буває і так (як свідчить приклад Геріота та Галілео), що однакові ідеї впливають із поширеного в певну епоху знання. Однак прихована робота ніяк не впливає на майбутні покоління, вона лише показує, що виникнення нових ідей не зводиться тільки до єдиної події, що має кульмінацію у роботі однієї особи. З іншого боку, публікація часто відіграє вирішальну роль, оскільки ідея може суперечити загальним переконанням або ідеології; Галілео може слугувати прикладом і цієї тенденції.

8. КЕПЛЕР (1571–1630), ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ДЛЯ НЕБЕС

Кеплерові випало розв'язати значно складнішу проблему, пов'язану з рухом тіл, аніж Галілео. Тоді як Галілео мовою сучасної математики виразив положення тіла у вільному падінні як функцію часу, Кеплер визначив положення планет у їхньому русі вздовж еліпсів (так

зване рівняння Кеплера). Результати його досліджень він опублікував у праці *Astronomia nova* ([29], розділ 60).

Ця книжка має дуже цікаву історію. Працю було закінчено на 1605 рік, однак друк затримався через брак підтримки з боку імперії (кошти на друк тоді перевищували річну зарплатню придворного астронома), а також через спротив нащадків Тихо Браге, яким імператор не доплатив обіцяної суми за його рукописи, і які, отже, були зацікавлені у даних Браге. Врешті вдалося досягти компромісу із зятем Тихо, Францем Ганснебом Тенгнагелем ван Кампом, який прагнув зробити свою власну публікацію (хоч і не мав до цього кваліфікацій). Тенгнагелю дозволено написати передмову, у якій він застерігає читача не дати *вольностям*, які собі дозволяє Кеплер, коли відступає від Браге у деяких із своїх тлумачень, особливо тлумачень фізичної природи, себе збентежити [39]. У Празі 1607 року вирізано дерев'яні матриці ілюстрацій для Кеплера, а 1608 року він надіслав текст на друк Е. Фегляйнові в Гайдельбергові. Брак імпринту (на якому вказана інформація про автора, видавця, редакцію, друкаря тощо) пояснюється тим, що це видання не передбачалося для комерційного розповсюдження (ймовірніше пояснення наведено у [40]: Гайдельберг у ті часи був центром німецького кальвінізму); права на розповсюдження книжки належали цісареві [41], оскільки Кеплер написав її на посаді придворного астронома, і друкували її коштом імперії. Однак сам Кеплер вважав інакше, оскільки мав давню заборгованість у належній йому платні, тож свої примірники продав видавцеві. Саме тому *Astronomia nova* – одна з найрідкісніших праць Кеплера (її примірника немає у бібліотеці Меклсфілда). Гюйгенс мав у своїй колекції низку праць Кеплера, зокрема й *Astronomia nova*. Її для нього знайшов математик Франк фон Скоотен, який мусив для цього *обійти майже всіх книготорговців*, перш ніж 1655 року нарешті купив примірник у Корнеліуса Гака. Року 1701 Гюйгенсів примірник продав видавець ван дер Аа з Гааги.

Кеплерова книга заслуговує на те, щоб її прочитати [42]. Його стиль й особисте заангажування у представленні своєї всепоглинної праці у пошуку правильної годограми планет виняткові та модерні. На початку *Astronomia nova* він подає огляд, що містить усі основні віхи праці. Кеплер вже стверджує, що сила тяжіння ('die Schwere') – універсальна сила на небесах, але також і на Землі [43].

Варто зазначити, що важливі публікації Кеплера хронологічно передували важливим публікаціям Галілео, Декарта і Ньютона; за словами Джералда Голтона [44], вони також більше показові. Однак, Кеплер зазнав *дивовижного забуття і нерозуміння*. Пізніше Голтон наводить одну причину цього забуття і нерозуміння, окрім мовного бар'єру (дуже небагато з праць Кеплера перекладено англійською): *Він настільки часто відходить від стежки, що веде до важливих питань сучасної науки [...], що його спосіб подання інформації є рівно ж несприятливим для сучасних читачів...* Цей аспект праці я вважаю таким же 'сучасним', як і *Трістрама Шенді* Лоренса Стерна, із його відступами та іронією. До того ж, Кеплерів спосіб писання (на відміну від *Principia* Ньютона) – простий і не ховає за ретельною структурою кроків властивого відкриття – своїх здогадок, помилок і принагідних удач, без яких зазвичай не обходиться творча наукова праця. Кеплерові часто ставлять на карб те, що він не приховував своїх містичних пошуків (алхімію, астрологію, нумерологію та чаклунство).

Кеплер і Галілео були зовсім різними людьми. Вони підтримували контакт, надсилаючи одне одному найновіші видання, а також листовно, але схоже на те, що Галілео не змінив своєї думки про рух планет, не відмовився від своєї теорії припливів та відпливів, а також не визнав Кеплерове досягнення у передбаченні обертання Сонця. Отже, їхнє спілкування було вельми одностороннім. Кеплерові не судилося скористатись і поняттям інерції і нової механіки Галілео. Він помер, перш ніж *Dialogi* з'явилися друком. Останній лист, що його Галілео надіслав Кеплерові, датовано 23 червня 1612 року, і стосувався спостереження щодо сонячних плям. Листовний діалог між цими двома науковцями нещодавно описано у книжці [45].

9. КОПЕРНИК І КНИГА, ЯКОЇ НІХТО НЕ ЧИТАВ

І Галілео, і Кеплер були послідовниками Миколая Коперника, який постулював Всесвіт із Сонцем у центрі. Це розуміння було основним для Кеплерових обчислень еліптичної орбіти Марса. Галілей з цього огляду був обережнішим, і попри те, що він поклав початок новій механіки, вірив у природний коловий рух у космосі. Однак коперниківський погляд суперечив мо-

гутній ідеології Церкви, і його книгу *De revolutionibus orbium coelestium* [46] помістили до Списку заборонених книг. Можна чудуватися, як коперниківські ідеї взагалі поширилися у науковій спільноті.

У романі *Сновиди (The Sleepwalkers)* [47] Артур Кестлер схарактеризував науковий здобуток Коперника як книгу, якої ніхто не читав і як найгірше продавану книгу усіх часів. Це твердження цілковито хибне, і, на мою думку, впливає із перебільшеного уявлення про вагу Індекса. Чому ж тоді Кеплер і Галілео вірили геліоцентричній системі Коперника? Це запитання заохотило Овена Гінґрича з'ясувати, чи книгу справді не читали, а якщо читали, то як вона поширилася континентом, і які науковці були з нею ознайомлені. Цю розвідку – справжню пригоду для книголюбів – описано у праці Гінґрича *Книга, якої ніхто не читав* [48]; її наслідком після тридцятилітніх досліджень стало опублікування компіляції двох перших видань Коперникового *De revolutionibus orbium coelestium* [49]. Автор дослідив примірники, їхнє походження, а головне – анотації, які доводили те, що науковці тих часів читали книгу, і засвоювали її зміст. Прискіпливий погляд на примірники свідчив також, що книжки не забороняли після зміни низки уривків із вказанням того, що геліоцентрична теорія – гіпотеза, а не правдивий опис світу. Такими були, наприклад, близько 60 відсотків примірників книжки в Італії. Примірники, що поширювалися за межами Італії, залишилися незмінними. Анотації із примірників, що належали науковцям того часу, відкривають мережу астрономів XVI століття, які обговорювали Коперникові ідеї.

В Україні є п'ять примірників *De revolutionibus orbium coelestium* – два у Києві, один у Харкові, і два у Львові [49, 50]. Бібліотека Оссолінеуму (колись у Львові, від часу Другої світової війни – у Вроцлаві) мала п'ять примірників книжки. Один із цих примірників надзвичайно важливий, бо містить анотації, запозичені безпосередньо з Міхаеля Местліна (з Шафгаузену). Местлін передав розуміння системи Коперника Кеплерові, коли той навчався у Тюбінгені (хоча офіційно Местлін працював у рамках давнішої птолемейської системи). Після того, як Кеплер полишив університет, він від 1594 до 1620 року підтримував зв'язки із Местліном. У [51] стверджується, що він (Местлін) мав невелику бібліотеку, і радо дозволяв Кеплерові читати свої анотовані книжки.

10. ОТТО ФОН ҐЕРІКЕ (1602–1686), ПОРОЖНІЙ ПРОСТІР І СТАН НАУКИ ДО НЬЮТОНА

Вакуум першим створив Торічеллі, учень Галілео, якого той захоплював шукати вакуум. Отто фон Ґеріке продовжив його дослідження і розробив помпу, за допомогою якої можна було створювати вакуум. Його знахідки (винахід і його демонстрація відбулися перед 1654 роком) опубліковано 1672 року у відомій книжці *Experimenta Nova* [30]. Однак ця книжка містить не лише опис його винаходів (серед яких і перший електростатичний генератор, що продукує електричні іскри), але і його розуміння системи світобудови. Це стає зрозумілим вже з назв розділів книжки: *Світ і його архітектура на думку дослідника, або Порожній простір, або ж Космічні сили і що від них залежить*. Особливо у розділі, присвяченому порожньому просторові, він пояснює свою поставу (що суперечить Аристотелевій і погоджується з Галілео). Його теза [30]: *Якщо б вакууму, тобто порожнього простору, не існувало б у природі, але увесь простір був би заповненим, то жодне тіло не могло б помінятися місцями з іншим; і не могло б рухатися з одного місця в інше*.

Отто фон Ґеріке можна вважати забутим генієм, оскільки його проігнорували більшість сучасних науковців і аматорів. Каспар Шотт ще 1657 року присвятив частину своєї *Mechanica Hydraulico Pneumatica* (з якою були ознайомлені Роберт Бойль та його асистент Роберт Гук) інструментам та експериментам Ґеріке. Бойль та Гук повторили й розширили ці експерименти, а 1659 року результати опублікували. Гук та Дюгамель приписали винахід повітряної помпи Бойлеві, однак Бойль відверто визнавав, що першість належала Ґеріке. Утім саме Бойль 1675 року виявив, що притягання між зарядженими тілами відбувається у вакуумі так само, як і в повітрі [52]. (Щоправда, тоді стверджувалося, що вакуумна помпа не випомпувала всього повітря.) Ньютон знав про цей експеримент і згадав про нього у *Principia* (Загальна схолія наприкінці третьої книги, що з'явилася у другому виданні *Principia* 1713 року.) Він писав: *Заберіть повітря, як це зробив у своєму вакуумі п. Бойль, і опір припиниться; бо у цій порожнечі шматочок пуху і шматок чистого золота падають з однаковою швидкістю. Цей же аргумент мусить стосуватися небесних просторів над земною атмосферою; у цих просторах, де повітря не чинить опору руху тіл, усі тіла рухаються як*

найбільш вільно; планети і комети ж продовжують свої обертання за заданими орбітами незмінно, відповідно до законів роз'яснених раніше; і хоча ці тіла можливо і справді продовжують рух за своїми орбітами лише завдяки законам тяжіння, однак звичне розташування самих орбіт цих тіл аж ніяк не могло вперше постати із цих законів.

На відміну від Геріке та Ньютона, Бойль не зробив жодних космологічних висновків зі свого експерименту. Кеплер вважав, що рух планет навколо Сонця є наслідком дії фізичної сили, що виходить від Сонця, і думав про магнетизм Гілберта (Кеплер вважав, що саме ця сила діє також і між усіма тілами – не лише між Сонцем і планетами, але і між Землею і Місяцем, як і між різними тілами (напр., двома каменями) на Землі. Однак цю ідею “космічного магнетизму” відкинуто, а близько 1640 року ідеї космічних центральних сил, що діють на відстані, здавалося, настав кінець. Але не для Геріке. Він розрізняв між двома типами сил – матеріальними силами (пов'язаними, наприклад, з повітрям, водою), які нездатні проникати у тверді тіла, а також нематеріальними, здатними на таку дію. Зразком останньої є те, що фізики називають етером (‘Himmelsluft’), який розглядався як фізичне поняття до Айнштайнової статті 1905 року. Нині ми працюємо з поняттям полів, які можуть поширюватися у вакуумі зі швидкістю світла (варто зазначити, що це мало б стосуватися не лише електромагнітного поля, а й гравітаційного).

11. ПРИКІНЦЕВА ЗАУВАГА

Бібліотека, що її роками розбудовував проникливий колекціонер, стає покажчиком до особистості власника і часу, у який він жив. Вона відображає спеціалізовані або загальні зацікавлення, допитливість та інтелектуальні досягнення. Рівно ж вона відображає період, у який збиралися фонди, книжників, книготорговців, та товариства цього періоду (Із вступу до [53]).

Ми не знаємо, якою була бібліотека науковця, оскільки немає каталога, а після смерті власника книжки розходяться на всі чотири сторони; лише в найкращих випадках вони врешті осідають у громадській бібліотеці. Книжки нищили у війнах або ховали у приватних колекціях. Книжки забороняла Церква або уряд, і їх доводилося читати таємно. Це може наштовхнути нас на висновок, що певної книжки не читали – хоч дійсність може бути цілком протилежною, як пере-

конує випадок *De revolutionibus* Коперника [48]. Однак, навіть якщо нам відомий обмін ідеями, що містяться у книжках (як у випадку з примірником *Astronomia nova* Кеплера, надісланим Галілеєві), це ще не означає, що ці ідеї належно засвоєно і продовжено.

Щоб зрозуміти розвиток наукових ідей (хоча це стосується усіх ідей, і не лише наукових), ми маємо знати, що знав науковець, який став автором нових ідей. Отже, ми мусимо знати, що друкувалося у давніших книгах, з яких книжок навчали в університетах, і які книжки читали науковці. Ми мусимо знати, як писали нові книжки, яких змін зазнавали рукописи, і якою було остаточне видання книжки. Висвітлення процесу боротьби за нове розуміння природи є важливим завданням, якщо ми хочемо зрозуміти, чого досягнуто, і ще важливішим, якщо ми хочемо зрозуміти, чого не знаємо.

Подяка. В основу цієї статті покладено лекцію, виголошену в Українському католицькому університеті у вересні 2007 р. у Львові. Я вдячний Українському католицькому університетові за запрошення на семінар. Цей семінар став для мене першою нагодою прочитати лекцію про “приватніше” зацікавлення книжками та науками. Мій рукопис не був би написаний без постійного заохочення з боку Юрія Головача, якому також належить подяка за критичне прочитання тексту.

ДОДАТОК: ХРОНОЛОГІЧНА ТАБЛИЦЯ

Історія науки (фізики) повинна прищепити нашій пам'яті таку саму “хронологічну таблицю”, яку ми маємо в уяві, коли думаємо про інші історичні події. Ми повинні бути спроможними пов'язати імена і дати з науковими ідеями, а авторів – із їхніми книжками. Всі здатні поєднати Гомера й античність (часи до Р. Хр.) із Одиссеєю, а Джеймса Джойса і початок ХХ століття – з Уліссом. В гуманітарних науках прочитання важливих книжок є обов'язковим [54]. Такий стандарт варто встановити і в науці (фізиці). Я наводжу особистий список книжок, з яких можна почати [55].

Ті, хто любить книжки, захоплено розглядають каталоги колекцій. Відбулися аукціони численних приватних бібліотек, які становлять інтерес [56]. Врешті я отримав величезне задоволення від прочитання *Короткої історії майже всього* Брайсона (Bryson, *A Short History of Nearly Everything*) [57].

Дата	Автор	Книга	Дібнер [13]
350 р. до Р. Хр.	Аристотель	Фізика	-
250 р. до Р. Хр.	Архімед	Метод	137
1328	Бредвардин	<i>De proportionibus</i>	-
1537	Таргалья	<i>Nova scientia</i>	102
1543	Коперник	<i>De revolutionibus</i>	3
1586	Стевін	<i>Weeghconst</i>	140
1609	Кеплер	<i>Astronomia nova</i>	5
1638	Галілео	<i>Discorsi</i>	141
1644	Торічеллі	<i>Opera geometrica</i>	-
1672	Геріке	<i>Experimenta nova</i>	55
1687	Ньютон	<i>Principia</i>	11

Таблиця 1:
Хронологічна
таблиця
згаданих
книжок із
нумерацією
за *Heralds of
Science* Дібнера.

ПОКЛИКИ

[1] Девіз цит. за: A. Kunzek, *Die Lehre vom Lichte nach dem neuesten Zustande der Wissenschaft zunächst für das Bedürfnis gebildeter Stände dargestellt*. Lemberg, Stanislawow und Tarnow. Verlag von Joh. Millikowitzki. 1836.

[2] W. Clarke, *German Physics Textbooks in the Goethezeit, part 1*, Hist. Sci xxxv, 219 (1997).

[3] Aschenbach Joseph, *Geschichte der Wiener Universität im ersten Jahrhundert ihres Bestehens*. Wien Verlag der K. K. Universität 1865 (див. с. 91–97).

[4] Ch. Darwin, *Gesammelte Werke Zweitausendeins*, Frankfurt/Main (2009) с. 355.

[5] Аристотель, *Aristoteles Physikvorlesung*. Übersetzt von H. Wagner, Darmstadt 1967. Переклад Вагнера іде слідом за грецьким текстом у редакції Ross, W. D. *Aristotle's Physics*, Oxford University Press, 1936.

[6] Аристотель, *Aristoteles' Physik. 2 томи*. Переклад Н. G. Zekl, Meiner Hamburg, 1987, 1988. Цей текст також починається із грецького тексту Росса.

[7] Аристотель, *Aristoteles Physik*. Переклад і примітки Ц. Г. Вайсе (С. Н. Weiße). Verlag von Johann Ambrosius Barth Leipzig 1829. Пізніший переклад здійснив Прантль (K. Prantl, Leipzig 1854). Він жорстко критикує Беккерівське видання 1831 року, що ґрунтується на перекладі Вайсе.

[8] Konstantinos Sp. Staikos, *The Great Libraries. From Antiquity to the Renaissance (3000 B. C. to A. D. 1600)* Oak Knoll Press & British Library 2000.

[9] H. Hunger, et al. *Textüberlieferung der antiken Literatur* dtv 4485 Deutschen Taschenbuch Verlag, 2 видання, 1988. Із вступом Мартіна Бодмера (видатного колекціонера книжок, див.: Ch. Méla *Legends of the Centuries. Looking through a legendary collection. Martin Bodmer Foundation. Édition Cercle D'Art Paris* 2004).

[10] Tarif al Samman und Otto Mazal, *Die Arabische Welt und Europa*. ADAEVA Graz 1988 (див. табл. 5; рис. 6).

[11] Christie's, *Fine Printed Books and Manuscripts Including Americana and Duplicates from the Burndy Library*, Каталог аукціону, середа, 14 червня 2006 р., Нью-Йорк.

[12] Jeff Weber, *Selections from the Burndy Reference Library of Bern Dibner*, Catalogue 151, Spring 2009.

[13] B. Dibner, *Heralds of Science as represented by two hundred epochal books and pamphlets in the Dibner Library, Smithsonian Institution, Burndy Library and Smithsonian Institution* 1980.

[14] Christie's *The Archimedes Palimpsest*, Каталог аукціону, четвер, 29 жовтня 1998 року, Нью-Йорк.

[15] E. J. Dijksterhuis, *Die Mechanisierung des Weltbildes*. Нім. пер. Г. Габіхт (H. Habicht), Springer Verlag, Berlin 1956. Див. параграфи 66–67 на с. 60–61. У цитаті написано: ..., daß Archimedes diese Methode nicht für würdig hielt, in sein publiziertes Werk aufgenommen zu werden ... weil sie auf der Auffassung eines Körpers als Summe unendlich vieler ebener Schnitte beruht.

[16] Archimedes, *Opera...omnia...primum & graece & latinae in lucem edita...* Basel, J. Hervagius, (March) 1544. Див., напр., Watson, Catalogue 14 item 5 (2006) (походження: П'єр Даніель Гює, Єпископ Авранський, видатний математик); Sotheby's, *The Library of the Earls of Macclesfield removed from Shirburn Catle Part II item 179* (2004) (походження: Вільям Джонс, вчитель математики, запровадив літеру π на позначення відношення довжини кола до його діаметра, яку згодом прийняв Леонард Ойлер); Christie's, *Haskell F. Norman Library Part I item 15* (1998) (походження Frater Januarius Dominican of Naples).

[17] Року 1266, після битви під Беневено, він потрапив від сицилійської династії Гогенштауфенів до рук Папи. Наприкінці XIV століття він перейшов у приватне володіння і на 1491 рік належав гуманістові Джорджо Валла. З того часу походить підсумування вмісту рукопису. Після смерті Валли рукопис за 800 золотих купив Альберто Піо, князь Капрі, 1550 року його успадкував племінник князя, Кардинал Родольфо Піо. Кардинал помер 1564 року і залишив каталог своєї бібліотеки, у якій манускрипту А вже не було. Найімовірніше, він потрапив до інших рук, і відстежити його не вдалося. На щастя, 1269 року Мербеке переклав текст латиною. Щодо кодексу А, то існує більша кількість грецьких копій. Широке дослідження рукописів і видань наводить Е. Й. Дікстергюс у розділі II Архімеда. Princeton University Press

[18] R. B. Lindsay, *Galileo Galilei, 1564-1642, and the Motion of Falling Bodies*. Am. J. Phys. 10 285 (1942).

[19] F. E. Brasch, *What is the Principia and what is its origin*, Astronomical Society of the Pacific, Leaflet No. 319 – December, 1955.

[20] Philoponus, *Commentary on Aristotle's Physics*, ed. H. Vitelli, CAG XVI–XVII, Berlin: Reimer, 1887?88 (Найважливіший коментар Філопона, у якому він оспорує Аристотелеві вчення щодо часу, простору, порожнечі, матерії та динаміки; відстежуються виразні сліди ревізії.); *On Aristotle's Physics 3, translated by M. Edwards, London: Duckworth, 1994; On Aristotle's Physics 5 to 8, translated by P. Lettinck, London: Duckworth 1993/4; Corollaries on Place and Voic, translated by D. Furley, London: Duckworth, 1991.*

[21] D. Santbach, *Problematum Astronomicorum et Geometricorum Sectiones VII. Auctore Daniele Santbach Noviomago, Basileae 1561.*

[22] Niccolo Tartaglia, *Nova Scientia inventa ...* [colophon: Venice, Stephano da Sabio for the author, 1537]. За своїми ідеями Тарталья стоїть поміж Аристотелем та Галілео. Він був першим науковцем доби Відродження, який критикував Аристотелеву *Фізику*. Дібнер представляє фронтиспис цієї праці у [13]; на ньому зображена крива (майже параболоїдна) траєкторія ядра, що вилітає з гармати.

[23] Донедавна єдиним англійським перекладом рукопису був переклад І. Е. Дребкіна (I. E. Drabkin), який переклав лише перший і четвертий із названих вище творів (есей та діалог про рух). Від 2000 року повний англійський переклад Реймонда Фредетта (Raymond Fredette) доступний на веб-сайті ECHO.

[24] Galileo Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuoue scienze Attenenti alla Mecanica & i Movimenti Locali*, Leiden Elzevier Press 1638. З опису бібліотеки Нормана Гаскела в каталозі Крістіз (частина II, пункт 458: Перший підручник з фізики і фундаментальна праця для науки механіки. ... Рукопис контрабандою вивезено з Італії до Франції, звідки він потрапив до Ельзев'єра у Голландії. ... Математичний аналіз у *Discorsi* доповнює філософське обговорення *Dialogo*.

Томас Салісбері 1665 року переклав *Discorsi* англійською, та, на жаль, Велика лондонська пожежа знищила це ошатне видання, і сьогодні не існує відомих повних копій. Трохи інформації про це видання можна знайти на веб-сайті проекту Archimedes. У 1730 році вийшов ще один переклад – Томаса Вестона. Та попри його високу ціну і важкодоступність, зміст видання невиразний і неоднозначний. Кращий переклад французькою за життя Галілео здійснив Мерсенн. Англійський переклад 1914 року доступний за адресою <http://Galileiandeinstein.phys.virginia.edu/tns.draft/>

Після того, як Декарт отримав примірник *Discorsi*, він написав довгого листа Мерсеннові, у якому помістив відгук на книжку і свої зауваження. Їх можна знайти у книжці Стілмана Дрейка на сторінках 387–393: Stillman Drake, *Galilei at Work. His Scientific*

Biography. The University of Chicago Press, 1978. Дозволю собі цитувати коментар Декарта щодо сторінок 197–198 книжки Галілео: Він [Галілео] припускає, що швидкості об'єктів, що падають, завжди зростають однаково [з часом, а не – як Галілео вважав раніше – із відстанню (див. Fölsing, Galileo Galilei – Prozeß ohne Ende, Piper Taschenbuch SP537, с. 476)]. Колись я вважав так само, але тепер вважаю, що можу довести, що це неправда. Однак закон інерції Декарт сформулював неточно. У його *Principia Philosophiae* 1644 року він зауважує (у другій частині, у параграфі 27): ... рух і спокій є лише двома різними станами одного і того ж. Бракує тут математичного уточнення Ньютона, за яким рух мусить бути рівномірним. Стверджують, що у своїх Листах Декарт сформулював закон інерції, подібний до Ньютонового.

[25] Simon Stevin, *De Beghinselen der Weeghconst – De Weeghdaet Praxis artis Ponderaria – de Beghinselen Elementa des Waterwhichts* Leiden: Franziscus Raphelengius for Christopher Plantin, 1586, три праці в одному виданні. Стевін – перший автор, який розвинув і продовжив працю Архімеда. Особливо остання праця становить перший систематичний трактат про гідростатику з часу Архімеда.

[26] U. Kühne, *Die Methode des Gedankenexperiments*. Stw 1742, Frankfurt a. M. Suhrkapm Verlag 2005.

[27] H. S. Williams, *A History of Science in Five Volumes* Vol. 2, BiblioLife, LLC, 2008.

[28] A. Kleinert, *Der messende Luchs. Zwei verbreitete Fehler in der Galilei-Literatur*. NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin Band 17, page 199 (2009).

[29] Johannes Kepler, *Astronomia nova AITIOLOGHTOΣ, seu physica coelestis, tradita commentariis de motibusstellae martis, ex observationibus G. V. Tychoonis Brahe* [Heidelberg: E. Vöglein,] 1609.

Англ. переклад, див.: W. H. Donahue, *Johannes Kepler: New Astronomy*. Cambridge University Press, 1992. Нім. пер., див.: Johannes Kepler, *Astronomia Nova*. Übersetzt von Max Caspar. marixverlag 2005.

[30] Ottonis de Guericke, *Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio*, Amstlodami Apud Joannem Janssonium à Waesberge, Anno 1672' (цитата у другій книзі, третій розділ), нім. пер. Г. Шіманка (H. Schimank) 1968 (2-ге видання 1996) VDI Verlag; перший англійський переклад 1994 Kluwer Academic Publishers. Недавно вдалося знайти спеціальний примірник.

[31] I. Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Londini MDCLXXXVII (перше видання). Існує декілька англійських видань; перше з них з'явилося 1729 року в перекладі Мотта. Існує також російське видання Крилова 1915 року (декілька разів перевидане). Це видання містить понад 200 приміток, а також історичних, філософських і математичних додатків. Понад третина

тому присвячена додаткам, що творять повне сучасне аналітичне представлення різних теорем і доказів з оригінального тексту, читке зрозуміння яких часто стає непосильним сучасному читачеві.

[32] M. v. Laue in G. Galilei, *Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend, Erster bis sechster Tag 1638*. Aus de Italiänischen und Lateinischen übersetzt von A. von Oettingen. Verlag Harry Deutsch 2004 (Ostwalds Klassiker der exacten Wissenschaften Band 11).

[33] J. Penn, P. Damerow, S. Rieger and M. Camerota, *Hunting the White Elephant. When and how did Galileo discover the law of fall?* Preprint 97 (1998).

[34] A. Frova and M. Marenzana, *Thus Spoke Galileo*. Oxford University Press 2006.

[35] Першою із знаних нам праць Торічеллі був трактат про рух, який розвивав вчення Галілео про снаряди. У *Opera geometrica*, Florenzia: A. Massi & L. de Landis 1644 він писав про механіку Галілео у двох розділах (“книгах”) під назвами *De motu gravium naturaliter descendantium i De motu Proiectorum*. Трактат містить й інші важливі внески у механіку; так, це перша праця, яка пише про рух води. Відтак Мах (Mach) у своєму *Die Mechanik in ihrer Entwicklung* назвав Торічеллі засновником гідродинаміки. Насправді рух снаряда і витікання води через отвір у посудині (формула Торічеллі) – це близько споріднені між собою явища. Оцифровану книжку можна знайти на Google.

[36] B. Cavalieri, *La spechio Ustorio overo Trattato delle Settioni Coniche, et alcuni loro mirabili effete interno al lume, caldo, freddo, suono, e moto ancora*. Bologna, Clemente Ferroni 1632.

[37] J. Renn, *Auf den Schultern von Riesen und Zwergen*. Wiley-VCH Verlag 2006; див. с. 136–137.

[38] M. Schemmel, *England's Forgotten Galileo: A View on Thomas Harriott's Ballistic Parabola*. У: Largo campo di filosofare: Eurosymposium Galileo 2001 / Montesinos, Jos; Sols, Carlos [eds.]. – La Orotava: Fundacin Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, 2001, с. 269–280; див. також: Tätigkeitsbericht 2003 der Max-Planck-Gesellschaft.

[39] Німецькою там написано: *So glaubte ich, wenigstens ein paar Worte an dich richten zu sollen, damit du dich nicht durch die Freiheit, mit der Kepler in gewissen, namentlich physikalischen Darlegungen von Bruhe abweicht, verwirren lässt*.

[40] Friedrich Seck, *Johannes Kepler und der Buchdruck*. Börsenblatt für den Deutschen Buchhandel – Frankfurter Ausgabe Nr. 43 29. Mai 1970.

[41] Цісар Рудольф казав: *Er one Unser vorwissen und bewilligung nymanden kain Exemplar davon gebe*. Цит. за: Max Caspar, *Johannes Kepler* W. Kohlhammer Verlag (3) 1958.

[42] Недавня спроба Флоріана Фрайштеттера (16.01.2009) прочитати *Astronomia nova* (яка складається із 70 розділів) і періодично вести блог про цей досвід, на жаль зазнала невдачі після четвертого розділу. Див.: <http://www.scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2009/01/ich-lese-die-astronomia-nova.php>

[43] Кеплер пише: *Die Schwere besteht in dem gegenseitigen körperlichen Bestreben zwischen verwandten Körpern nach Vereinigung oder Verbindung (von dieser Ordnung ist auch die magnetische Kraft), so daß die Erde viel mehr den Stein anzieht; als der Stein nach der Erde strebt. ... Wenn man zwei Steine an einen beliebigen Ort der Welt versetzen würde, nahe beieinander außerhalb des Kraftbereichs eines dritten verwandten Körpers, dann würden sich jene Steine ähnlich wie zwei magnetische Körpern einem zwischenliegenden Ort vereinigen, wobei sich der eine dem anderen um eine Strecke nähert, die der Masse der anderen proportional ist*. З [29], у нім. перекладі на с. 29. Варто зазначити, що єдиною відомою на той час силою взаємодії була магнітна сила, а розуміння відмінності між двома типами електричного заряду прийшло лише 1735 року. Вже Геріке побудував електрифікуючу машину.

[44] G. Holton, *Johannes Kepler's Universe: Its Physics and Metaphysics*, Am. J. Phys. 14 340 (1956).

[45] Thomas de Padova, *Das Weltgeheinis. Kepler, Galilei und die Vermessung des Himmels*. Piper München 2009.

[46] Nicolaus Copernicus, *De revolutionibus orbium coelesticum*. Norimbergae, 1543. У [13] Дібнер зауважує: Найраніша із трьох наукових книжок, що найкраще пояснили стосунок між людиною та її всесвітом (разом із *Началами* Ньютона та *Походженням видів* Дарвіна).

[47] A. Koestler, *The Sleepwalkers (Сновиди)*. У німецькому виданні (*Die Nachtwandler*, Suhrkamp Taschenbuch 579, 1980) цитату можна знайти на с. 190. Автор аргументує із зіставлення видань різних книг: він перелічує чотири видання *De revolutionibus*, а також 17 видань, наприклад, *Grundlehren der Physik* Меланхтона, яка з'явилася після праці Коперника, і намагалася її спростувати. Тоді як *De revolutionibus* залишається віхою у розвитку наук, Меланхтоновий бестселер сьогодні не має особливого значення. Критичний коментар щодо *Сновид* надали G. de Santillana та St. Drake у часописі *Isis*, Vol. 50, 255 (1959). Відповідь на цю “надмірну” критику надав Марк Граубард: Mark Graubard, *The Sleepwalkers: Its Contribution and Impact, Astride Two Cultures: Arthur Koestler at Seventy*, Harold Harris, ed. New York: Random House, 1975, с. 35–36.

[48] O. Gingerich, *The Book Nobody Read. Chasing the Revolutions of Nicolaus Copernicus*, Walker and Company. New York 2004. Заслуговує на увагу і той чинник, що Рабле, який мандрував Європою із повною скринєю книжок, мав у своїй колекції і примірник *De Revolutionibus*.

[49] O. Gingerich, *An Annotated Census of Copernicus De revolutionibus*, Brill Academy Publishers, Leiden - Boston - Köln 2002.

[50] D. N. Mazurenko, *Copernicana of Ukrainian Libraries*, *Istorico-Astronomicheskie Issledovania*, 17, 397 (1984).

[51] R. S. Westman, *Kepler's early physical-astrological problematic*, *JHA*, xxxii (2001). У міській бібліотеці Шафгаузена є низка книжок, які колись належали Местлінові. Найважливіша з них, мабуть, його ретельно анотований примірник *De revolutionibus* Коперника. Близько однієї п'ятої цих книжок – книжки, що їх Местлінові надіслав Кеплер. Є також примірник *Sidereus nuncius Galileo* із 1633 року, що належав Местліновому синові Готфрїду.

[52] P. J. Bruce *The History of Electromagnetic Theory*. Thesis University.

[53] L. Rostenberg, *The Library of Robert Hook. The Scientific Book Trade of Restoration England*. Modoc Press 1989.

[54] D. Denby, *Great Books: My Adventures with Homer, Rousseau, Woolf, and Other Indestructible Writers of the Western World*. Simon & Schuster New York 1996 Akademie Verlag 1961.

[55] Дозволю собі навести чотири приклади книжок про наукові книжки, на які покликається більшість антикварних та аукціонних каталогів: R. A. Sparrow, *Milestones of Science. Epochal books in the history of science as represented in the library of the Buffalo Society of Natural Sciences*. Buffalo Society of Sciences 1972.

P. Withfield, *Landmarks in Science. From prehistory to the atomic age*. The British Library 1999.

Ed. J. Carter and P. H. Muir, *Printing and the Mind of Man. The impact of print on five centuries of western civilization*. Holt, Rinehart and Winston, New York 1967.

V. L. Roberts and I. Trent, *Bibliotheca Mechanica*, J. Hill New York 1991.

[56] Sotheby's, *The library of the Earls of Macclesfield removed from Shirburn Castle Part II (A–C), IV (D–H), V (I–O) and VI (P–Z із додатками)*, London 2004–2005.

Christie's, *The Haskell F. Norman Library of Science and Medicine*. Part I, II, III, New York 1998.

Sotheby's, *The Magnificent Scientific Library of Joseph A. Freilich*, New York 2001.

Christie's, *Bibliothèque Jean-Louis Mosés. Sciences et Médecine*. Paris 2004.

Sotheby's, *The Scientific Library of the late Søren Madsen*, London 1996.

F. Zisska & R. Kistner, *Von Kepler bis Einstein. Exakte Naturwissenschaften, Technik Und Handwerk, Bergbau und Mineralogie*. München 1988.

[57] B. Bryson, *A Short History of Nearly Everything*. Broadway Books, New York 2003.

ФЕНОМЕН ІВАНА ПУЛЮЯ

Роман Пляцко

*Інститут прикладних проблем механіки
і математики ім. Я. С. Підстригача
НАН України, Львів*

У багатьох сферах людської діяльності виокремлюються постаті, які лише дуже приблизно й умовно вписуються у визначені фахові рамки, оскільки спектр їхніх зацікавлень і масштаб доробку – незвичайно широкий. Це по-різному виявляється у ті чи ті історичні періоди й показовою щодо цього є епоха Відродження у Європі. Часто універсальні таланти найвищого рівня асоціюються з відомими титанами науки та мистецтва саме цієї епохи. Однак постать Івана Пулюя (1845–1918) унікальна навіть серед найяскравіших його попередників і наступників. Це усвідомлювали вже і його сучасники. Пантелеймон Куліш назвав його чоловіком-самоцвітом, а відомий німецький математик Гергардт Ковалевський у спогадах писав: “... ніколи в житті я більше не зустрівач такої особистості як Пулюй” [1, с.

*Іван Пулюй,
(1845–1918).
Фото празького
періоду.*



12]. Австрійський професор Вільгельм Форман вважав Івана Пулюя однією з найцікавіших постатей науки XIX і початку XX століть, тим, хто спричинився до перетворень світу. Обсяг доробку І. Пулюя у науковій, гуманітарній і культурній сферах справді грандіозний. Учений упродовж трьох десятиріч був не лише визнаним лідером у багатьох напрямках досліджень у царині фізики й електротехніки, а й послідовно здійснював широку програму піднесення рідного народу до висот духовності. Працюючи майже все життя за межами України, головню у Празі та Відні, саме він узяв на себе обов'язок розбудувати усю систему освіти – від початкової школи до українського університету у Львові, від невеликого молитовника до повного видання Біблії, від підручників з геометрії та ботаніки для гімназій до публікації актуальних наукових праць українською мовою. Він сам досягнув вершин у науці, і наполегливо торував шлях до таких вершин іншим. Його віра в майбутнє рідного народу була безмежною, а практичні кроки до його досягнення – надзвичайно дієвими.

У фізиці Пулюй відомий як віртуозний експериментатор і проникливий теоретик. Йому вдалося відповісти на питання, які залишились нез'ясованими у молекулярній фізиці після робіт Максвелла. Своїми систематичними дослідженнями катодних променів саме Пулюй усунув хибні стереотипи, які побутували серед відомих європейських фізиків. Не випадково, цикл праць Пулюя про катодні промені, опублікований німецькою мовою, Лондонське фізичне товариство видало в англійському перекладі (1889 р., перевидало 1891 р. і навіть зовсім недавно 2009 р.) у першому томі із запланованої серії книжкових видань, присвячених найактуальнішим дослідженням, результати яких вперше вийшли у світ не англійською мовою. Важливо, що саме з досліджень катодних променів постала сучасна фізична електроніка, зокрема, український винахідник Борис Грабовський використав катодний комутатор у конструкції першої у світі системи електронного телебачення (1927). Не менш важливо, що якраз Пулюєві дослідження катодних променів торували шлях до виявлення Х-променів. Пулюй відкрив йонізаційну властивість Х-променів, уперше пояснив їхню природу та механізм утворення. Саме “трубка Пулюя” давала найкращі знімки у Х-променях, які відразу ж застосували в медицині, тобто він започаткував медичну рентгенологію.

В електротехніці учений проаналізував процеси в електричних колах, використовуючи строгий математичний опис. Він був одним із піонерів у бурхливому розвитку електротехніки, під його керівництвом побудовано низку електростанцій у Чехії. Іван Пулюй заснував електротехнічне товариство у Празі, його обрали почесним членом Віденського електротехнічного товариства. Здобули визнання у Європі та світі винаходи Івана Пулюя: прилад для вимірювання механічного еквівалента теплоти (зберігається в музеї історії техніки в Мюнхені), різні типи освітлювальних ламп, зокрема лампа “денного світла”, безпечна телефонна станція, електричний вентиль для випрямлення змінного струму, термометр для вимірювання температури на глибинах, наприклад, у копальнях та інше. Результати своїх наукових досліджень й опис технічних винаходів Пулюй публікував також українською мовою на сторінках видань Наукового товариства ім. Шевченка у Львові, чим започаткував випрацювання української фізичної і технічної термінології.

Іван Пулюй, обраний 1899 р. дійсним членом Наукового товариства ім. Шевченка, 1902 р. у складі делегації НТШ передав Міністерству у Відні меморіал з обґрунтованою вимогою відкрити український університет у Львові (врешті 1912 р. уряд ухвалив рішення відкрити такий університет не пізніше 1916 р., але цьому завадила війна). Знаний науковець 1910 р. одержав титул Радника двору, а 1913 р. його обрали почесним членом Віденського електротехнічного товариства. У 1914 р. разом з І. Горбачевським І. Пулюй очолив Комітет допомоги українським біженцям з Галичини, окупованої російськими військами, а також пораненим і військовополоненим, заснував фонд для фінансової підтримки навчання української молоді. А 1916 р. вченому запропонували посаду Міністра освіти Австрійської монархії, однак, він відмовився за станом здоров'я.

Ще 1869 р. І. Пулюй видав український переклад *Молитвослова* (друге побільшене видання 1872 р.). Спільно з П. Кулішем 1871 р. переклав і видав чотири Євангелія, а 1880 р. у Львові вийшло повне видання Нового Завіту їхнього перекладу. Завдяки організаційним зусиллям І. Пулюя 1903 р. вийшов у світ повний переклад Біблії, який виконали П. Куліш, І. Нечуй-Левицький та І. Пулюй.

Іван Пулюй опублікував понад 20 публіцистичних статей та інших праць на захист інтересів українського народу, зокрема, його мови. У брошурі *Україна*

та її міжнародне політичне значення, виданій 1915 р. німецькою мовою у Празі, Пулюй наголосив, що “Поневолені народи Росії мають бути звільнені і зорганізовані у самостійні держави. Але найзначнішим для здійснення цієї високої мети, для встановлення тривалого миру в Європі, може бути тільки самостійна Україна. Самостійна Україна є, на наш погляд, ключем для мирного дому Європи” [3, с. 646].

Осмислюючи життя і творчий доробок видатної особистості, завжди виникають питання щодо спонук, які зумовили вибір конкретних видів діяльності й визначили те, що прийнято називати життєвим шляхом; про формування тих рис характеру, які забезпечили стійкість і витривалість у подоланні різноманітних перешкод; про вплив випадкових чинників, зокрема, щасливого чи навпаки збігу обставин – перелік можна продовжити. Отож, спробуймо відповісти, хоч і неповно, на ці запитання стосовно Івана Пулюя.

Звичайно, важливу роль відіграють вроджений талант і родинне виховання. Про багатогранний талант І. Пулюя уже згадано вище, є і достовірні відомості про його батьків. Народився Іван Пулюй 2 лютого 1845 р. у старовинному містечку Грималові (тепер Гримайлів, що за 40 кілометрів на південний схід від Тернополя) у сім’ї Павла Пулюя (1820–1893) та Ксенії Пулюй (1823–1882) із родини Бурштинських. Батьки добре господарювали (у певний час мали 60 моргів поля і 100 вуликів), були дітям прикладом моральної поведінки і працьовитості. Павло Пулюй мав авторитет у Грималові, у 1861–1865 роках був його бургомістром. Якщо б йшлося про аналогічні сімейні та матеріальні обставини для здобуття освіти і згодом фахового зростання молодою людиною, скажімо, в Німеччині, Франції чи навіть у Польщі, гріх було б нарікати. Однак за умов нашої бездержавності, коли в Галичині здобуття освіти у Львові було складнішим, ніж у Відні, позитив родинних обставин суттєво нівелювався іншими, негативними обставинами. Тому в листі до гімназійного товариша Данила Танячкевича від 1865 р. Іван Пулюй зазначав: “... а так іду у погану Німоту у Відень; щось, бач, так і плакати хочеться, так нудно серцю, одна тільки надія – що і там будуть сини України – каже серцю утихомириться. Іду у семінар (зіставбися на світі, так грошей нема), ходитиму також на руське, математику і фізику” [4, с. 35].

Слова з цього листа про бажання здобувати світську освіту зовсім не означають, що Пулюй недооцінював

значення освіченого духівництва в Галичині й узагалі в Україні. Навпаки, його подальша подвижницька праця над перекладами і виданням духовної літератури рідною мовою свідчить про глибоке розуміння ролі релігії в моральному піднесенні народу. Водночас, відчуваючи свою спроможу опанувати точні науки, він мав реальні підстави надіятися, що його подальша праця у цьому напрямі сприятиме заповненню суттєвої прогалини в цивілізаційному розвитку власного народу, а саме, формуванню наукових кадрів. А тут ситуація на середину XIX ст. була невтішною, особливо в царинах природничих і точних наук. Було б безвідповідально лише сподіватися на поворот політики австрійського уряду щодо українців Галичини в те річище, яке започаткувала свого часу Марія Терезія. Йдеться про те, що за правління Марії Терезії (роки життя 1717–1780) в Австрії було скасоване кріпацтво (1773), зрівняно у правах українських греко-католиків з католиками, відкрито українську духовну семінарію у Відні (1774) при церкві св. Варвари – відомий *Barbareum*. Ці заходи дали поштовх дуже важливому процесові – формуванню високоосвіченої інтелігенції, спочатку духовного стану, а згодом учительства, лікарів, правників, які часто походили саме зі священничого середовища. За усієї важливості праці селян і ремісників, нормальне буття національної спільноти неможливе без досягнення певного критичного відсотка тих громадян, які вивільняються від цих занять і стають творцями й носіями інших знань, про що переконливо писали ще Іван Федорів і Григорій Сковорода.

Політика Марії Терезії щодо українців Галичини особливо контрастувала із заходами Катерини II в Російській імперії: руйнування Запорозької Січі (1775), жорстоке закріпачення українських селян, доведення до занепаду українського шкільництва. І в подальшому, впродовж наступних майже 150 років, практично щороку разучі відмінності в реаліях національного життя українців в обох імперіях лише наростали. Наприклад, з одного боку – відкриття українських гімназій (першою була Академічна гімназія у Львові – з 1867 р. тут українську мову викладали у 1–4 класах, а від 1874 р. – в усіх інших) і боротьба за відкриття окремого університету у Львові з українською мовою викладання (в Львівському університеті ще 1787 р. було запроваджено викладання українською мовою у так званому *Studuim Ruthenum*), з іншого – додаткові жорстокі утиски української мови на підставі Валуєвсь-

кого циркуляра (1863) та Емського указу (1876). Чи був обізнаний Іван Пулюй з цими та багатьма іншими фактами української історії? Нема сумніву, що так, до того ж уже в час навчання у Тернопільській гімназії (1857–1865), не кажучи вже про подальші роки, коли виходили у світ його глибоко аналітичні публіцистичні праці. Саме в Тернопільській класичній гімназії, у якій викладання велося німецькою мовою, Пулюй сформувався як український патріот. З його ініціативи 1863 р. учні гімназії заснували таємне товариство *Громада*, на його зборах, що проводили тричі на тиждень, вивчали українську історію та літературу, Святе Письмо. Великий вплив на гімназійну молодь мала поезія Тараса Шевченка. Як писав І. Пулюй: “Молодіж тернопільська витвердила сю заповідь, що її оставив незабутній Тарас, пишучи до живих і мертвих: Подивітесь на край тихий, / На свою Вкраїну, / Полюбіте щирим серцем / Велику руїну. Свідома їй і отся: Обійміте ж, брати мої, / Найменшого брата, / Нехай мати усміхнеться – / Заплакана мати” [1, с. 20]. Шевченкова поезія сформувала в Пулюя відчуття і розуміння соборності України, що виразно виявилось у подальшій його діяльності.

Свідченням особливого пієтету молодих галичан до Шевченка був вечір його пам’яті 1866 р. у Відні, який організували студенти. Ось як описує цю подію в листі до членів *Громади* Іван Пулюй, тоді студент-першокурсник теологічного факультету Віденського університету: “Дня 10-го марця обійшлисьмо роковини Шевченка. Та славно вже відбулися! Усі слов’яни здивувалися! Ми хоч числом від них менші, то таки щодо діла їм наперед нас не вирваться. Усі допитувались, кільки нас є у Відні, та все дуже чудувалися, коли вчули відповідь – до двадцятьох ... Усі приглядались Тарасовій тварі – та й все допитувались, чого такий смутний. “Тюрма московська і кати зневолили його”, відговорювали їм наші. Смутний, но якась надлюдська повага осіла на його тварі. Портрет такий великий, як за життя. Відрисований від його посмертної фотографії. Мова, деклямації, співи і музика прекрасні ... Під час деклямацій тихо, хоч мак сій ... й грімкі плескання – *vyborne, Rusini, vyborne* (чеською мовою – “прекрасно, русини, прекрасно”. – Р.П.). Все йшло елегантно, як того треба було на Відень ... було до 300 людей. Вахнянин мусів по два рази співати” [4, с. 37]. Ці схвильовані рядки яскраво відображають незвичайну атмосферу цього вечора, яка не могла залишити байдужими й неукраїнських студентів, особливо чехів.

Отже, уже на час закінчення Тернопільської гімназії (1865) Іван Пулюй мав виразно окреслені переконання, твердо знав мету свого життя як син народу й розумів, що має робити для її осягнення. Ось слова з його статті, опублікованій у львівському часописі *Мета* за 1865 р.: “Тернопільська молодіж усіма силами прикладається до науки. В науці видит вона свою і свого народу будучність; поза наукою видиться їй усе мертве, усе закостеніле, і дальше розвинути не може ... Тому й усіма силами старається вона, щоб свій вік не змарнувати” [1, с. 275]. Безумовно, ці слова стосуються передусім самого Пулюя і відображають його життєве кредо. Промовистий факт: ще як студент Віденського університету першого року навчання він переклав українською мовою підручник із планіметрії для українських гімназій, хоч на той час таких ще не було.

Від перших місяців перебування у Відні І. Пулюй вів активну організаційну роботу серед студентської молоді, зокрема, заснував товариство українських богословів. У 1968 р. став одним із засновників легального студентського товариства *Січ* і в 1872–1873 роках його очолював. Про важливу роль, що її відіграла *Січ* у суспільно-культурному житті Галичини, в її європеїзації також, писав пізніше Іван Франко, зазначаючи: “... в лоні самої “Січі” почали вироблюватися люди, що не їли даром університетського хліба, віддавались науці серйозно, не для посади та кар’єри, такі люди, як Ів. Пулюй, Ів. Горбачевський і інші” [5, с. 322].

У Відні ж студент-теолог Іван Пулюй розпочав роботу над перекладами духовної літератури українською мовою і вже 1869 р. видав у Відні свій переклад *Молитвослова* накладом три тисячі примірників, з тим, щоб половину з них поширити серед українців, які служили в австрійському війську. Через три роки вийшло у світ повніше видання молитовника коштом Пулюя, про якісне оформлення якого писали, що “... друк дуже красний, на грубім велиновім папері, а на остаток ціна одного примірника в прехорошій оправі так низька, що ні польський жаден, ні церковноруський молитовник не стане му до пари” [1, с. 23]. До того ж І. Пулюй одразу визначився з мовою перекладів, долаючи намагання впливових церковних кіл зберегти в релігійній літературі “язичіє” і не допустити зрозумілої народів мови. Свій підхід Пулюй послідовно аргументував, наголошуючи, що “зобороняти народів молитовник в його власній мові, а давати незрозумілий, значить, що

годитись: нехай нарід розуміє молитву, як хоче. ... Знаю 15-мільоновий самостійний руський (малоруський) нарід, і сильно вірую в його будучину. Бажаю, щоб наш великий нарід допевнився чесного місця в слов'янському світі в дорозі морального і матеріального двигнення, просвіти і добробуту. А як кожда ціль має свої средства, так і просвіта, яко ціль всенародня, дасться тільки всенародніми, зрозумілими цілому 15-мільоновому народові. Читаючи Основ'яненка, Шевченка, Куліша, Шашкевича, Федьковича і других, розуміють їх люди в Галичині і на Україні” [3, с. 571]. Пулюєве відстоювання прав народної мови згодом високо оцінив Іван Франко: “Пулюй 1871 р. дав себе знати в руським письменстві як дуже талановитий полеміст у дуже делікатній справі – вживання народного язика в церковних книжках” [6, с. 31].

Новий етап у перекладацькій роботі Пулюя розпочався після особистого знайомства у Відні 1869 р. з Пантелеймоном Кулішем. Їхня безпосередня спільна праця над перекладом Біблії розпочалась у лютому 1871 р., коли письменник знову приїхав до Відня, а Пулюй по закінченні теологічних студій став студентом філософського факультету Віденського університету (1869–1872). За основу для перекладу взяли грецьке видання лондонського Біблійного товариства. У спогадах Пулюй писав: “Поділили ми роботу між себе так, що я перекладав із грецької мови, дбаючи більше про докладність, як про красу слова. Пізніше порівнювали ми сей переклад з церковно-слов'янським, російським, польським, сербським, німецьким, латинським, англійським і французьким. Впевнивши себе таким чином у вірності нашого перекладу, робили ми останню редакцію красномовну ...

Щоб прискорити діло, я наважився покинути на якийсь час мої університетські науки і всі заробітки та й віддати увесь час для спільної праці” [1, с. 203]. Пулюй також зазначав, що “Робили ми сей переклад більше як сім місяців день в день від рання аж до пізньої ночі. Над иншими словами думали ми тижні, місяці, поки рішились його прийняти” [3, с. 85]. Підсумком величезної праці став вихід у світ уже 1871 р. у Відні чотирьох Євангелій накладом від трьох до п'яти тисяч примірників. У 1880 р. вийшов Новий Завіт із друкарні Наукового товариства ім. Шевченка у Львові, пізніше низку перевидань здійснювало британське Біблійне товариство, аж до 1913 р.

Над перекладом Старого Завіту працював П. Куліш до останніх днів життя (помер 1897 р.), а Пулюй взяв

на себе важкі обов'язки щодо видання повного тексту Біблії: “По смерті Куліша нав'язав Пулюй переговори з Кулішевою і репрезентантом британського біблійного товариства Мілярдом у Відні в справі видання перекладу Старого Завіту, зладженого в більшій частині Кулішем. До помочи запросив Івана Нечуя-Левицького, котрий перевів четвертину Старого Завіту; сам зладив переклад “Псалмів” і зредагував переклад Куліша, виправляючи деякі недогляди та недостачі До перекладу св. Письма на українську мову прикладав Пулюй велику вагу. Він займався сею справою через яких 35 літ свого найкращого віку, незважаючи на те, що був обтяжений науковою та иншою працею, та порівнює у своїй автобіографії значіння появи українського св. Письма зі значінням перекладу Біблії Лютера для німецького народу” [7, с. 5].

Щодо якісного рівня перекладу наведемо таку оцінку: “Вперше в 1976 р., отже 100 років пізніше, Літургійна комісія в Римі під керівництвом патріарха Йосифа Сліпого ствердила, що українська Біблія Куліша і Пулюя є з різних поглядів найґрунтовнішою і для того часу найкращою” [1, с. 205]. Також прикметно, що ще після виходу у світ Нового Завіту українською мовою відомий російський журнал *Вестник Европы* помістив рецензію, у якій наголошувалось, що це видання ближче до народної української мови, ніж російськомовне видання *Новаго Завета* до народної російської мови.

Особливих зусиль докладав І. Пулюй до того, щоб отримати дозвіл на розповсюдження української Біблії у Російській імперії. З цією метою писав листи-клопотання до Головного управління у справах друку в Петербурзі, Академії наук у Петербурзі, члена Державної думи і директора Імператорської публічної бібліотеки Кобеко та ін. Усі клопотання були глибоко аргументованими, зокрема в одному з них читаємо: “Переклади св. Письма дозволені в Російській імперії більше як на 36 мовах. Вільно там навіть монголам, туркам і татарам читати і проповідувати слово Боже на своїй мові, вільно й полякам і таким слов'янським народам, як серби, болгари та чехи, що, жиючи розсіяні по всій імперії, становлять тільки малесенький процент російського населення, не вільно тільки 25 мільоновому русько-українському народові, хоч він з московським ще й одновірний. Минуло вже 23 років з часу того, як мое прошення, предложене 1881-го року шановному Управленню по ділам печати, щоб дозволено на Україні русь-

ко-український переклад Нового Завіту, було признане “не подлежащим удовлетворению” [4, с. 259]. Однак російські реалії були такими, що легше було добитись дозволу в японського генерала Ногі на поширення духовного слова українською мовою серед вояків-українців, полонених під час російсько-японської війни, про що І. Пулюй писав у статті “Наше св. Письмо дозволене в Японії” у львівській газеті *Діло* [1, с. 256]. У низці інших публіцистичних статей, які І. Пулюй опублікував у *Ділі* упродовж 1905–1906 рр., він гостро засуджував політику заборон української мови в Росії у широкому контексті, не лише щодо поширення там Святого Письма. Зокрема у меморіалі, надісланому в лютому 1905 р. сенаторові Кобеко, якого за умов деякої лібералізації в Росії призначили головою комісії для перегляду цензурних законів, Пулюй вказує на необхідність запровадити такі зміни: скасувати царський указ від 1876 р. щодо заборони української мови; допустити її в Україні в урядові установи й школи, у пресу, літературу й науку; дозволити ввезення в Росію Святого Письма й наукових видань українською мовою, друкованих за межами Росії.

Зазначмо, що Пулюй добре орієнтувався в обставинах життя українців у Росії зокрема й тому, що мав особисті враження і спостереження – він двічі побував на Наддніпрянській Україні, 1876 (за іншими даними 1878) і 1880 року. Під час першої подорожі він поїхав через Київ до Борзни на Чернігівщині, де був декілька днів гостем родини Білозерських. Друга подорож, яка тривала декілька тижнів, припала на літо 1880 р. – 28 липня в Києві його зустріли П. Куліш із дружиною і запросили до себе на хутір Мотронівку неподалік Борзни. Під час дружніх розмов на різні теми обговорювали, зокрема, можливість видавати в Австрії український літературний журнал, такий як *Основа*, що виходив у Петербурзі у 1861–1862 роках. Крім Мотронівки і Києва, Пулюй побував також у Харкові, де провів близько тижня. Щодо вражень від подорожі він писав: “Приїхавши до станції Плиски, зараз почувся я на “нашій, не своїй землі” і те гірке почуття обгортало мене ще більше в центрах України, в Києві і Харкові. Через цілу дорогу, по станціях і вагонах, не почув я ні одного рідного слова” [1, с. 36]. Однак після відвідин Володимира Александрова (1825–1893), який працював у Харкові міським і військовим лікарем, “... стало мені весело в серці, а київська нудьга, що сповила мою душу, щезла як дим од вітру... Веселі та щасливі хвили, прожиті в

домі Александрова, й досі для мене незабутні”. Володимир Степанович Александров залишив помітний слід в українській літературі – свій перший вірш опублікував 1862 р. в *Основі*, згодом упорядкував альманахи української поезії *Складка*, автор двох оперет, його поетичні рядки “Я бачив, як вітер берізку зломив” стали популярною піснею. Пулюй листувався з Александровим від 1874 р. У Харкові І. Пулюй зустрівся також з відомою українською громадською і культурною діячкою, керівником недільних шкіл Христиною Алчевською.

На спомин про перебування Пулюя в Мотронівці Куліш присвятив йому поезію *Молитва*, а Пулюй присвятив Кулішеві науково-популярну книжку *Нові і перемінні звізди* (1881).

Однак повернімося до років навчання Івана Пулюя на філософському факультеті Віденського університету. Маємо свідчення того, що Пулюй у той час ґрунтовно студював фізику, математику й астрономію. Зокрема його перші кроки в науці, зроблені одразу після закінчення студій під час роботи у фізичній лабораторії професора фон Лянга у Віденському університеті (1872–1874), були впевненими й уже 1874 р. побачили світ дві його статті в журналі *Доповіді Віденської академії наук*, присвячені експериментальному дослідженню залежності внутрішнього тертя повітря від температури. Зазначмо також, що у своїх подальших працях Пулюй ефективно використовував строгий математичний опис досліджуваних процесів, застосовуючи диференціальні рівняння та аналіз їхніх розв’язків, ряди Фур’є, що було великою рідкістю навіть серед провідних фізиків-експериментаторів того часу.

Саме завдяки високій фаховості Пулюєві запропонували посаду асистента-викладача кафедри фізики, механіки та математики Військово-морської академії у місті Фіюме (тепер Рієка в Хорватії) у 1874–1875 роках. Там за короткий час він не лише здобув авторитет викладача, а й сконструював прилад для вимірювання механічного еквівалента теплоти, який став широко відомим у науковому світі. (Цей прилад 1878 р. був відзначений срібною медаллю на всесвітній виставці в Парижі; ще у 20-х роках ХХ ст. його виготовляли німецькі фабрики для продажу середнім і вищим школам, а підручники з фізики подавали його опис; 1907 р. на прохання дирекції музею науки і техніки в Мюнхені Пулюй подарував точну копію свого приладу, де його встановили поряд з відомим приладом Джоуля).

У 1875–1876 рр. Пулюй продовжив свої студії і наукові дослідження з фізики в Страсбурзькому університеті, в інституті відомого фізика професора Августа Кундта. У 1876 р. захистив дисертацію про залежність внутрішнього тертя газів від температури, здобув ступінь доктора філософії Страсбурзького університету й повернувся до Відня.

У 1876–1883 рр. Іван Пулюй працював асистентом і приват-доцентом у Віденському університеті. Саме у цей період Пулюй провів фундаментальні дослідження процесів, що відбуваються під час проходження високовольтного струму через сильно розріджені гази і виклав їх у циклі з чотирьох статей, опублікованих 1880–1882 рр. у *Доповідях Віденської Академії наук*. Основна проблема, яка цікавила Пулюя, полягала у з'ясуванні природи і властивостей катодних променів і він ще на початку 1880-х років дійшов висновку, близького до сучасного розуміння катодних променів як потоку електронів, який став безперечною науковою істиною з відкриттям електрона Дж. Томсоном 1897 р. Прикметно, що на відміну від Пулюя такі видатні німецькі вчені, як Гітторф, Гольдштайн, Відеман, Герц, Ленард, аж до середини 1890-х років висловлювали помилкові твердження, що катодні промені є своєрідними електромагнітними хвилями і їх поширення не пов'язане з перенесенням електричних зарядів. Пулюй уперше довів, що дія магнітного поля на катодні промені має ту саму природу, що його ж дія на електричний струм, який проходить у твердих провідниках, і описується тими самими законами. Фактично, Пулюй першим якісно сформулював те поняття, що згодом отримало назву “сили Лоренца” і стало загальноновизнаним лише в останні роки XIX ст. та лягло в основу електронної теорії Лоренца.

Саме через особливу актуальність досліджень Пулюя Лондонське фізичне товариство 1889 р. видало його монографію “Radiant electrode matter and so-called fourth state”, присвячену катодним променям і дотичним питанням, в англійському перекладі – у книзі *Physical Memoirs, selected and translated from foreign sources*, у якій друкували результати найважливіших фізичних досліджень, виконаних поза межами Великої Британії (німецькою мовою монографія Пулюя вийшла 1883 р. у Відні). Ця книга містить праці чотирьох авторів – Гельмгольца, Гітторфа, Пулюя і Ван дер Ваальса, внесок їх усіх у фізику витримав перевірку часом, ці імена добре відомі сучасним фізиком й історикам науки.

Науково-дослідницьку працю у Віденському університеті Пулюй успішно поєднував з винахідництвом, на що звернули увагу власники й організатори промислового виробництва. Як зазначав Пулюй у листопаді 1882р. в одному із листів, “Тепер я зробився директором електротехнічного бюро Бравна і Гейдера, не кидаючи доцентури університетської ... Мою лампу переносну прийнято в воєнно-технічному комітеті і я надіюсь, що незадовго знайдеться великий капітал, щоб побудувати фабрику для моїх ламп” [4, с. 93]. Такий капітал знайшовся, і у 1883–1884 рр. Іван Пулюй на запрошення підприємця Йосифа Верндля, власника відомої у Європі фірми, переїхав до міста Штайра (Австрія), де працював як консультант і директор фабрики освітлювальних ламп власної конструкції, досконаліших від ламп конструкції видатного американця Томаса Едісона. Його винаходи забезпечили великий успіх електротехнічної виставки, яка відбулась влітку 1884 р. у Штайрі. Завдяки цьому Пулюй отримав запрошення Міністерства освіти обійняти посаду професора експериментальної і технічної фізики Німецької високої технічної школи в Празі. У цьому навчальному закладі Пулюй модернізував і поглибив курси викладання, 1885 р. започаткував окремий курс лекцій з електротехніки разом із практичними заняттями. У 1888 р. заснував електротехнічне товариство в Празі, у якому головував багато років (ще раніше, 1883 р., Пулюй став членом-засновником електротехнічного товариства у Відні, яке 1913 р. обрало його своїм почесним членом). У 1888 р. професора Пулюя обрали ректором Німецької політехніки у Празі, 1890 р. – деканом машинобудівного факультету, а згодом він добився створення окремої катедри електротехніки і 1902 р. її очолив. З нагоди 100-літнього ювілею Німецької політехніки у Празі Пулюя відзначили орденом Залізної корони за його наукову та викладацьку працю. Він отримав також хрест ордена Франца-Йосифа і високий титул Радника двору.

У 90-х роках XIX ст. Пулюй відіграв вирішальну роль як керівник проектування і будівництва багатьох електростанцій на змінному струмі в Чехії. Якість проектів і їх реалізації були дуже високими, із дотриманням екологічних вимог навіть сучасного рівня (тому, зокрема, мешканці Праги досі використовують електроенергію, яку дає їм “Пулюєва” електростанція).

Роки діяльності у Празі були плідними для Пулюя як винахідника. Ще 1878 р. у Відні він сконструював і у

статті описав телефонний сигнальний апарат, а вдосконаленням телефонного зв'язку займався й пізніше, коли працював над спорудженням електростанцій (тут особливо важливою була безпека і надійність зв'язку). Одне із найбільших технічних досягнень Пулюя – винайдення телетермометра, що давав змогу вимірювати температуру на великій віддалі від спостерігача (1889). Значну увагу присвятив Пулюй теоретичним і практичним питанням електротехніки змінних струмів, передусім ролі електромагнітної індукції та самоіндукції в електричних колах. Він запропонував зручний метод визначення коефіцієнта самоіндукції за допомогою електродинамометра й індуктора (1891), а також вимірювання різниці фаз двох струмів (1893). Винаходи Пулюя відзначали на міжнародних виставках і патентували у низці країн. Радіометр, який він сконструював, описаний в авторитетній сучасній монографії *Nineteenth-century scientific instruments*, by G. Turner (California University Press, 1983).

У 1896 р. Пулюй повернувся до своїх дослідів із катодними променями, які проводив ще у Відні. Поштовою до цього стало повідомлення німецького фізика Рентгена про відкриття (випадкове, як він зазначав) нового роду невидимих променів, за якими згодом закріпилась назва “Х-променів” (в англійській і французькій мовах), та “рентгенівських” (у німецькій та деяких інших). Це відкриття мало свою передісторію і зовсім не випадкове підґрунтя. Шлях до нього пролягав через вивчення газорозрядних процесів у вакуумних трубках й авторитетним лідером на цьому шляху, як уже зазначалось вище, у 1880-х роках був саме Іван Пулюй. Причому він сам конструював і виготовляв вакуумні прилади, першу люмінесцентну лампу також, що давала яскраве світло, при якому можна було читати на віддалі декількох метрів. Цей прилад став широковідомим у Європі та США і ввійшов в історію техніки як “лампа Пулюя” (“Pulujlampe”). Як з'ясувалось згодом, саме знімки у Х-променях, що виконав Пулюй за допомогою цієї лампи, найчастіше відтворювали у європейських науково-популярних виданнях як неперевершені за якістю, щоб проілюструвати застосування цих променів у медицині. Зокрема лондонський часопис *The Photogram* за 1896 р. подав знімок скелета цілого людського організму і вказав, що це перший у світі такий знімок і його автором є професор Пулюй. На

цікаву інформацію про першу медичну Х-променеву фотографію, зроблену в США, натрапляємо в [8, с. 241]. Це відбулося 3 лютого 1896 р. у Дартмутському коледжі, де була багата колекція газорозрядних трубок. Після перевірки майже дюжини із цих трубок виявилось, що лише одна з них генерувала Х-промені. Це була трубка Пулюя, виготовлена в Ляйпцигу, під номером 1147. Зрозуміло, що за такого широкого поширення трубок Пулюя у світі випадкове виявлення Х-променів могло статися у багатьох лабораторіях, наприклад, через засвічення фотопаперу, випадково залишеного поблизу ввімкнутої трубки, як у фортунному для Рентгена епізоді.

Отож, уже в січні 1896 р. Пулюй виконав принципово важливі дослідження Х-променів, а 6 лютого 1896 р. про їхні результати доповів на засіданні математично-природничої секції Віденської академії наук і опублікував у двох статтях у *Доповідях* цієї Академії. Серед цих результатів важливе пріоритетне значення мали: пояснення фізичної природи нових променів і мікроскопічного механізму їх утворення; відкриття їх йонізаційної дії; з'ясування просторового розподілу Х-променів та точне визначення місця, де вони утворюються; досягнення особливо високої якості знімків, що уможливило застосувати їх у медицині й реально започаткувало новий напрям у медицині, який тепер називають медичною рентгенологією.

Празький період життя Івана Пулюя не обмежувався його активною науковою й викладацькою діяльністю, працею у галузі промислової енергетики й систематичними енергійними заходами щодо видання повного тексту Біблії. Значних зусиль він доклав до налагодження послідовної системи вищої освіти й розвитку науки в Галичині. Першочерговим було завдання добитись від австрійської влади відкриття окремого українського університету у Львові. Провідну роль у відповідних заходах, які тривали понад десять років, відіграв І. Пулюй, проявляючи виняткову наполегливість і надихаючи своєю енергією зневірених. У січні 1902 р. у складі делегації відомих галицьких наукових та громадських діячів передав владі у Відні матеріали в справі заснування українського університету у Львові. На зауваження Міністра освіти щодо нестачі українських наукових кадрів ще під час авдієнції Пулюй відповів, що “не так то й лихо стоїть річ між русинами з тими науковими силами, як се Його Ексцеленції дорад-

ник його представив, і нехай буде бесідникові вільно вказати тільки на тих фахових людей, що з немалими успіхами працюють на німецьких, польських, російських і чеських університетах” [3, с. 589]. Однак справа з відкриттям українського університету у Львові зтягувалась передусім через опір впливових польських кіл. У 1904 р. Пулюй опублікував серію статей у газеті *Діло* у справі відкриття українського університету, які вийшли також як окрема збірка *О руський університет у Львові*. Врешті 29 листопада 1912 р. австрійський прем'єр-міністр оголосив проєкт заснування українського університету у Львові, який мали відкрити восени 1915 р. Характерна реакція царського уряду: у червні 1914 р. російський посол у Відні вручив ноту міністрові закордонних справ Австро-Угорщини, в якій наголосив, що відкриття українського університету у Львові російський уряд вважатиме за ворожий стосовно себе крок та за можливий *casus belli* (причину війни).

Із початком Першої світової війни в Івана Пулюя посилилась віра в те, що Україна стане незалежною, і його патріотична діяльність набула яскраво виражених політичних рис. Він опублікував чимало статей у газетах, 1915 р. видав дві брошури німецькою мовою, виступав на різних зібраннях. Йому важливо було донести до європейських політиків правдиву історію України, вказати на багатовікові жорстокі акції царизму проти українців. Зокрема щодо заходів російської окупаційної влади в Галичині він писав: “Переслідувався кожний слід українського життя, розпущено школи, в один пречудовий день були пограбовані інституції, музеї і бібліотеки, національне багатство стало здобиччю. Усі культурні й політичні досягнення мусили бути зліквідовані і Галичина зросійщена” [3, с. 643]. І. Пулюй гаряче підтримав ідею створення Легіону Січових Стрільців, захоплювався їхнім героїзмом. Під час зустрічі з українською громадою Праги 5 травня 1915 р. привітав присутніх із перемогою Січових Стрільців на горі Маківці в Карпатах. За декілька тижнів до відходу в інший світ Пулюй в одному з листів писав: “Справа відбудови Польщі і прилучення до неї Галичини, що так сильно зворушила ум і серце нашої інтелігенції і послів наших, не сходить мені з думки і мучить мене вдень і вночі, бо й сон мене не береться від зворушення і пересердя. Я бачу, що тепер надходить дуже грізний час, і що треба всім українцям більше як коли одностайно стати і боротися з ворогами нашими” [4, с. 502].

Проникливими словами прощався ректор Німецької політехніки з Іваном Пулюєм: “Події цієї великої війни глибоко схвилювали Твоє сильне серце ... Бурхливі хвилі наших днів збудили в Тебе надію, що відбудеться зліт Твого народу ... Доля дозволила Тобі побачити ранню зорю свободи Твого народу, який Ти любив до останнього подиху; вона піднялася з темних воєнних хмар, і її перші яскраві сонячні промені побажали озолотити кінець Твого сповненого праці життя” [1, с. 234]. Адже помер Пулюй через дев'ять днів після проголошення незалежності України.

Рідкісне поєднання універсального таланту, титанічної працездатності, загостреного почуття справедливості і відповідальності, особливої одухотвореності й ще чогось невловимого, що визначає чар особистості, витворили феномен Івана Пулюя. Напевно, не буде перебільшенням твердити, що такий феномен міг виникнути якщо не лише, то передусім на українському ґрунті, як наслідок аномально складних, на межі виживання, обставин національного буття. Важко уявити, щоб якийсь німецький чи англійський учений-природодослідник XIX або XX століть присвячував значну частину свого життя справам громадським, загальнонаціональним, подібним до тих, що поглинали Івана Пулюя – у цьому просто не було потреби. Хіба що напрошуються деякі паралелі з діяльністю Андрія Сахарова, однак, він розпочав громадську й політичну діяльність уже після того, як реалізував себе як видатний учений-фізик. Тоді як у Пулюя процес самореалізації як науковця з молодих років тривав практично синхронно із реалізацією системних заходів, спрямованих на те, щоб забезпечити власному народові перехід від стану животіння до повноцінного морального й інтелектуального життя.

Може виникнути питання-сумнів: а чи не краще було б, якби Пулюй замість того, щоб витрачати час на видавничі й інші справи, не пов'язані з фізикою, десь у 80-х роках XIX ст. довше посидів у лабораторії, експериментуючи зі своєю катодною трубкою, виявив X-промені й отримав Нобелівську премію? Природа цього сумніву і пов'язаної з ним досади зрозуміла – подібно до того, як пересічна людина, побачивши, що пішоход, який іде тротуаром декілька метрів попереду, раптом знаходить тугий гаманець, не може позбутись нав'язливої думки: “Чому я не вийшов з дому на секунду раніше?!”. Однак не фетишизуймо нагород, премій

та їх володарів. Важливе інше – Нобелівських лавреатів багато, а Пулюй – один – постать, яка зачаровує кожного, хто має в собі хоча б часточку печаті його духу.

За останні 15 років опрацьовано значний обсяг документальних джерел, що дало змогу відтворити життєвий і творчий шлях Івана Пулюя, хоча й не повністю. Професор Роман Гайда (1928–1998) скрупульозно вивчав архіви Праги та Австрії, у чому йому сприяли професор Іво Краус з Технічного університету Праги і внук Івана Пулюя Петер Пулюй, який дбайливо оберігає родинний архів. Стараннями Ольги Збожної упорядковані й видані листи Івана Пулюя з коментарями. Завдяки Василеві Шендеровському маємо том праць Івана Пулюя. Роботу з вивчення і систематизації архівних джерел продовжують Юрій Головач і Галина Сварник.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гайда Р., Пляцко Р. Іван Пулюй (із серії “Визначні діячі НТШ”). – Львів, 1998.
2. Нагорняк С., Медюх М. Фізико-технічні ідеї Івана Пулюя. – Тернопіль, 1999.
3. Пулюй І. Збірник праць / за ред. В. Шендеровського. – К., 1996.
4. Пулюй І. Листи (упорядник О. Збожна). – Тернопіль, 2007.
5. Франко І. Зібрання творів : у 50 т. – К., 1982. – Т. 33.
6. Там само. – Т. 41. – К., 1984.
7. Цегельський Р. Др. Іван Пулюй як науковий дослідник (в десятиріччя його смерті) // Збірник Математично-природописно-лікарської секції НТШ. – Львів, 1928. – Т. 27.
8. Spiegel P. K. The first clinical X-ray made in America. – 100 years // American Journal of Roentgenology. – 1995. – Vol. 164. – P. 241–243.

ПРО АВТОРІВ

Богдан НОВОСЯДЛИЙ (1957) – астрофізик, доктор фізико-математичних наук, директор Астрономічної обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка. Наукові зацікавлення: космологія, релятивістська астрофізика, формування великомасштабної структури Всесвіту, будова й еволюція галактик і скупчень галактик, приховані складові Всесвіту. Член Наукового товариства імені Т. Шевченка, Європейського астрономічного товариства та Міжнародного астрономічного союзу.



Володимир ТКАЧУК (1957) – фізик-теоретик, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри теоретичної фізики Львівського національного університету ім. Івана Франка. Наукові зацікавлення: суперсиметрія в квантовій механіці, фундаментальні проблеми квантової механіки, квантова інформація, квантова і класична механіки у просторі з некомутативними координатами.



Іван БОЛЕСТА (1950) – фізик, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри радіофізики та комп'ютерних технологій Львівського національного університету імені Івана Франка. Основні напрями досліджень: експериментальні дослідження та комп'ютерне моделювання електронних та іонних процесів у наноструктурованих матеріалах, оптичні спектри локальних центрів у діелектричних матрицях та у кристалах зі структурними фазовими переходами, плазмонні ефекти у метал-діелектричних наноконструкціях.





Михайло ЗАРІЧНИЙ (1958) – математик, доктор фізико-математичних наук, професор, декан механіко-математичного факультету Львівського національного університету ім. Івана Франка, завідувач кафедри геометрії і топології. Наукові зацікавлення: топологія, математична економіка, теорія міри. Лауреат премії ім. О. В. Погорелова Національної академії наук України.



Ростислав СТОЙКА (1950) - спеціаліст в галузі молекулярної біології клітини, доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, завідувач відділу Інституту біології клітини НАН України. Наукові зацікавлення: молекулярні механізми регуляції розмноження й відмирання пухлинних та імунних клітин; подолання стійкості пухлинних клітин до лікарських препаратів; наноматеріали для доставки ліків і генів. Іноземний член Польської Академії наук і мистецтв, дійсний член НТШ, лауреат премії АН України ім. О. В. Палладіна та премії НАН України ім. Р. Є. Кавецького.



Гаральд ІРО (1946) – фізик-теоретик, габілітований доктор, надзвичайний професор Університету Йогана Кеплера (Лінц, Австрія), з 2010 р. – емерит. Наукові зацікавлення: критичні явища у фізиці конденсованих систем, історія і епістемологія фізики. Одна з його книжок перекладена українською мовою: Гаральд Іро, Класична механіка, Видавництво ЛНУ, Львів (1999), 461 с.

Райнгард ФОЛЬК (1945) – фізик-теоретик, габілітований доктор, надзвичайний професор Університету Йогана Кеплера (Лінц, Австрія), з 2009 р. – емерит. Лауреат премії ім. Вальтера Шоткі Німецького фізичного товариства. Почесний доктор Інституту фізики конденсованих систем НАН України. Наукові зацікавлення – критичні явища у фізиці конденсованих систем (сегнетоелектричні і ферромагнітні фазові переходи у регулярних та структурно-непорядкованих системах, нейронні мережі, надпровідність, критична динаміка), історія науки і культури.



Роман ПЛЯЦКО (1952) – фізик-теоретик, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, дійсний член НТШ. Дослідник у галузях загальної теорії відносності, релятивістської астрофізики, історії української науки та культури. Автор книжок *Прояви гравітаційної ультрарелятивістської спінорбітальної взаємодії* (1988) та *“Іван Пулюй”* (у співавторстві з Р. П. Гайдою, 1998).



Наукове видання
ОБРІЇ НАУКИ
(збірка нарисів про науку і про вчених)

За редакцією
Юрія Головача та Ярослава Грицака

Редактор
Анна-Марія Волосацька

Макет та верстка
Андрія Кіся

Переклади
Павла Грицака

Здано на складання 01.04.2014. Підписано до друку 25.07.2014
Формат 84x108 1/32. Папір Minke. Офсетний друк.

Видавництво «Манускрипт-Львів»
вул. Енергетична, 22/10
м. Львів, 790026
тел. +38 (032) 270-32-80