

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС
«ІНСТИТУТ МОНОКРИСТАЛІВ»

В. П. Семиноженко, В. В. Яновський

Перед обличчям Всесвіту

Харків «Юнісофт»
2021

УДК 524.85
П27

Перед обличчям Всесвіту/ В. П. Семиноженко,
П27 В. В. Яновський; Науково-технологічний комплекс
«Інститут монокристалів» НАН України. —
Харків: Юнісофт, 2021. — 224 с.: іл.
ISBN 978-966-935-930-8

У книзі обговорюються питання, які не залишать байдужим будь-якого читача. У ній здійснена спроба викласти не лише етапи виникнення нашого Всесвіту, галактик, зірок, планет, але і життя на нашій планеті Земля, виникнення соціальних структур і, головне, майбутніх проблем, з якими неминуче зустрінеться Людство. Автори прагнули до короткого, але ясного викладу навіть дуже складних проблем, намагаючись зробити зміст книги доступним найширшому колу читачів.

УДК 524.85

©Семиноженко В. П., 2020
©Яновський В. В., 2020
©ЧП «Юнісофт», 2020

ISBN 978-966-935-930-8

До читача

Одне з найяскравіших наших дитячих вражень — це прекрасне нічне небо, з яскравими зірками, яке вабить своєю загадковістю. Багато людей зберігають це почуття на все життя, та лише небагато з них присвячують йому своє життя. Так було завжди. Однак кожне покоління дізнається про нього щось нове. «Дві речі наповнюють душу завжди новим і все більш сильним подивом і благоговінням, чим частіше і триваліше ми міркуємо про них, — це зоряне небо наді мною і моральний закон у мені». Ну, звичайно ж, більшість із вас чули цю фразу, що широко цитується з «Критики чистого розуму» Іммануїла Канта (1724–1804). Кант був одним із тих, хто присвятив себе Всесвіту. Він був дивною людиною. Виходець із бідної родини, він мав винятково слабе здоров'я. Міркуючи над проблемою здоров'я, він вирішив, що якщо всі дні будуть абсолютно схожими, то буде відсутній виділений момент для смерті. Розробивши для себе режим дня, він неухильно дотримувався його все своє життя. По ньому мешканці Кенігсберга перевіряли свої годинники та складали про нього жарти й анекдоти. Слід зазначити, що Кант прожив довге життя, переживши всіх своїх друзів. За цей час він не тільки створив грандіозні філософські роботи, але й запропонував космогонічну гіпотезу («Загальне природознавство та теорія неба», 1755), ідею про природне походження людських рас і заклав основи генеалогічної класифікації тварин. У книзі ми торкнемося цієї гіпотези в розділі



Картина Поля Гогена «Звідки ми прийшли? Хто ми? Куди ми йдемо?» належить Музею образотворчих мистецтв в Бостоні.

«День народження Сонця», а про походження людства розповімо в розділі «День народження Людства».

Однак наш Всесвіт наповнений не тільки безкрайнім Космосом. Нас оточують неймовірні та дивовижні форми життя. Захоплення, яке вони викликають, пронизане бажанням зрозуміти, як з'явилося Життя. Ця загадка завжди притягає та вабить. Захоплення навколишнім Світом надихало поетів багато століть. Згадаємо вірші Вільяма Блейка (1757–1827), написані майже три сторіччя тому:

To see a world in a grain of sand,
And a heaven in a wild flower,
Hold infinity in the palm of your hand,
And eternity in an hour.

William Blake «Auguries of Innocence»

Одна піщина світ покаже,
Покаже небо квітка сина.
В руці утримай неосяжне,
І цілу вічність — у годині.

Вільям Блейк. Переклад Ганни Яновської

Ці поетичні рядки не можуть не викликати захоплення і сьогодні. Власне, нерозривний зв'язок між малою частинкою Світу й величезним Всесвітом породжує таке явище, як Людина. Частина книги присвячена питанню, яке цікавить людство із прадавніх часів: хто ми і куди йдемо? Це питання міститься і в назві знаменитої картини Гогена, створеної на Таїті. Сенса життя — це суто людське явище. Тільки Людина надає сенс Всесвіту.

У цій книзі торкнемося споконвічного питання про походження, еволюцію та сенс існування людства. У повній відповідності зі словами Блейка, щоб усвідомити його, потрібно безумовно торкнутися характерних масштабів часу, які близькі до часу існування Всесвіту. На малих інтервалах часу, співмірних життю одного покоління, це питання не тільки марне, але й безглузде. І це не випадково! Такі проміжки часу не можна порівнювати з часовими масштабами існування Людства. Як це не здається дивним, саме глобальні масштаби й процеси Всесвіту необхідно розглядати для усвідомлення сенсу існування людства. Людству важливо знайти відповідь на найголовніше питання, яке пов'язане не стільки з імовірністю зародження Життя, як з імовірністю виживання всього живого.

Найголовніше питання пов'язане не з імовірністю зародження Життя, а з імовірністю його виживання.

У наш час турбулентних процесів, швидких змін у суспільстві, в якому все більш важливе значення набувають грошові відносини і культ споживання, а традиційні цінності нівелюються та уявлення про реальність стають все більш віртуальними, ми пропонуємо поміркувати разом із нами над знайомим з дитинства питанням: що для людства добре і що — погано? Може здатися, що без відповіді на це питання люди прекрасно обходилися

й обійдуться надалі. Звичайно, можна обговорити і цю точку зору. Своєрідній позиції страуса багато хто надає перевагу. Однак ми переконані, що це питання не тільки актуальне — від відповіді на нього залежить доля не тільки людства, але взагалі Життя на Землі.

Тому ми вирішили нагадати головні стадії появи всього живого на нашій планеті. Це допоможе нам з вами зрозуміти, наскільки стійке або вразливе саме Життя.

Ми розглянемо, чи великі шанси людства на виживання та яку роль у можливості виживання всього суцього відіграє Розум. Саме цій проблемі і присвячена наша книга. Зрозуміло, ми прагнули до короткого, але ясного викладу навіть дуже складних проблем, намагаючись зробити зміст книги зрозумілим для найширшої аудиторії читачів.

Почнемо з обговорення появи нашого Всесвіту...

Зміст

1. Виникнення	1
1.1. День народження Світу	1
1.2. День народження Сонця	22
1.3. День народження Землі	30
1.4. День народження Життя	38
1.5. День народження Людини	60
1.6. Народження Соціуму	74
2. Проблеми	89
2.1. Проблеми Соціуму	92
2.2. Проблеми Людства	135
2.3. Проблеми Життя	171
2.4. Проблеми Планети	179
2.5. Проблеми Сонця	186
2.6. Проблеми Галактики	191
2.7. Проблема Всесвіту	194
2.8. Висновок	203

Розділ 1.

Виникнення

В давнину люди вважали, що існують вічні об'єкти, явища природи і суспільства. Сучасна наука стверджує відсутність таких речей. Інакше кажучи, усе колись виникло або зародилося. Це стосується навіть загадкового Часу. «І в думках навіть не вміщається, щоб був коли-небудь час, коли ніякого часу не було». Це сказав Марк Тулій Цицерон (106–43 р.р. до н. е.), давньоримський філософ та видатний оратор. Якщо виключити слово «був», яке при відсутності часу безглузде, і «не вміщається», то це цілком сучасний погляд на Час. Цю ж думку можна виявити і в стародавньому англійському прислів'ї: Everything must have a beginning (Все має свій початок).

Тому ми почнемо спочатку.

1.1. День народження Світу

Наш Всесвіт народився 13.7 млрд років тому. Це зовсім не вигадка «яйцеголових», як зазвичай називають вчених-теоретиків, а точно встановлений факт. Перша цеглина у фундамент цього знання була закладена всесвітньо відомим

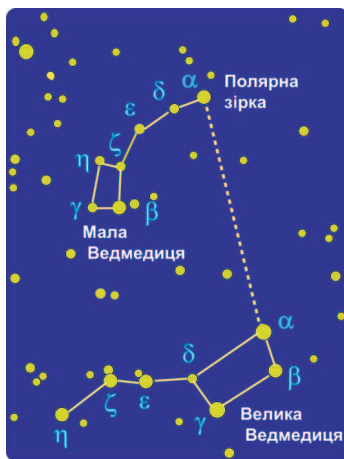


Рис. 1.1. Полярна зірка — своєрідний компас — та її розташування на небосхилі.

американським астрономом і космологом XX століття — Едвіном Хабблом (1889–1953), який зробив видатний вклад у розуміння структури космосу.

Без малого сто років тому він займався, здавалося б, абсолютно непрактичним для тодішнього суспільства питанням — виміром відстаней до віддалених космічних об'єктів. Винятково цікаво, що держава повірила у важливість його досліджень і виділила фінансування на його проведення. Питання виявилось дуже складним. Результати були отримані завдяки створенню, підкреслимо, на гроші платників податків 100-дюймового телескопа Хукера (1919). На той час це був найбільший телескоп у світі.

За допомогою нового обладнання Хаббл знайшов декілька цефеїд у Туманності Андромеди та деяких інших туманностях. Цефеїди — це зірки, світимість яких періодично змінюється, їх ще називають пульсуючими зірками. Період пульсацій залежить від світності зірки. Це своєрідні маяки у Всесвіті. Цікаво

відзначити, що Полярна зірка, по якій зазвичай орієнтуються мандрівники, є цефеїдою (див. Рис.1.1). Відстані до цих туманностей, отримані вченим, явно вказували на те, що вони не можуть належати нашій галактиці. Вони занадто далекі від нас. Це означало, що відомий нам раніше Всесвіт збільшився і наповнився безліччю інших галактик. Це було найважливішим відкриттям того часу. Тепер вже не доводилося сумніватися, що космос не обмежується нашою галактикою.

Використовуючи отримані результати про відстані до цих галактик, Хаббл вдалося в 1929 році встановити закон «червоного зміщення», який говорить, що зміщення довжини хвилі світла, що надходить, відбувається у бік червоного діапазону хвиль, і цей зсув пропорційний відстані до випромінюючих об'єктів. Цей закон називається тепер законом Хаббла. У такій формі закон виглядає вкрай нудним і беззмістовним. Але давайте викладемо його в термінах швидкостей відповідних об'єктів. І ми одержимо твердження, що всі об'єкти віддаляються від Землі зі швидкостями, прямо пропорційними відстані до них. Це вже зовсім дивний факт! Здавалося б, з цього випливає, що Земля розташована точно в центрі Всесвіту і всі галактики віддаляються від неї. Однак це неприйнятно з точки зору відомого принципу Коперника. Цей принцип, незважаючи на свою простоту, відіграє величезну роль у розумінні природи. Виник він у запалі боротьби між геоцентричною картиною світу та геліоцентричною системою у XVI сторіччі.

Наш Всесвіт народився 13.77 млрд років тому.

З незабутніх часів навчання у школі нам відомо, що Миколай Коперник — видатний польський астроном епохи Відродження, математик, богослов і медик, спростував висунуту ще стародавніми греками теорію, згідно з якою планети та Сонце

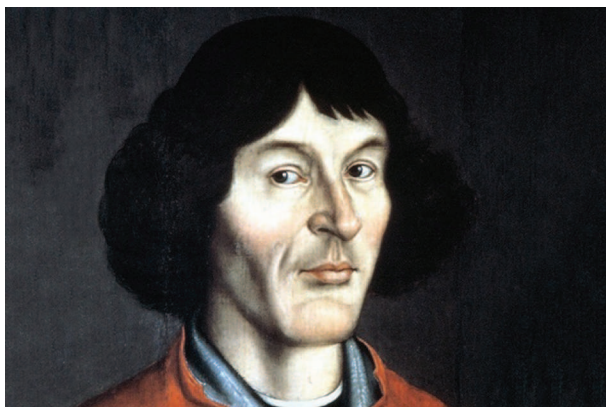


Рис. 1.2. Миколай Коперник (1473–1543). З моменту виходу його книги «Про обертання небесних сфер» почалася наукова революція, яка привела до всіх досягнень сучасного Людства.

обертаються навколо Землі. Він створив і обґрунтував нову, геліоцентричну теорію світоустрою: усі планети нашої зоряної системи обертаються навколо Сонця. Книгу «Про обертання небесних сфер», у якій він виклав геліоцентричну картину Світу, йому не вдалося побачити опублікованою. Вона була видана, коли Коперник вже перебував у стані тяжкої коми.

У певному сенсі Копернику пощастило. Галілею, який відстоював геліоцентричну планетну систему Коперника у своїй книзі «Діалог про дві найголовніші системи світу», пощастило менше. Він був заарештований інквізицією і підданий допиту. Історики схильні вважати, що до нього застосували тортури. Після оголошення звинувачень «...ми ухвалили книгу під заголовком «Діалог» Галілео Галілея заборонити, а тебе самого ув'язнити при Св. судилищі на невизначений час» Галілей змушений був прочитати підготовлений інквізицією текст зречення. Формулювання у вирокі «сильно запідозрений у єресі» врятувало його від багаття.

Величезна роль Коперника полягала в тому, що він позбавив Землю виділеного або особливого місцезнаходження в картині Світу. Земля перетворилася на рядову планету, одну з «багатьох», які оберталися навколо Сонця. Узагальнення цієї ідеї полягає в тому, що наша Сонячна система нічим не виділена в нашій Галактиці, та й наша Галактика — одна з багатьох галактик у Всесвіті. Власне в цьому і полягає принцип Коперника, або принцип Пересічності. У найбільш узагальненій формі принцип Коперника переходить у Космологічний принцип, згідно з яким у Всесвіті немає виділеного спостерігача, усі вони рівноправні. Усі спостерігачі незалежно від свого розташування і напрямку спостереження побачать ту саму картину в середньому. Космологічний принцип — важливий елемент сучасної космології. І хоча, на жаль, принцип Коперника руйнує приємну зарозумілість людини (адже кожний з нас і вся спільнота «*Homo sapiens*» переконані у своїй винятковості та унікальності), відновлення розташування Землі в центрі Всесвіту, з наукового погляду було абсолютно неприйнятним. Тому для розуміння експериментальних даних Хаббла потрібно було знайти інше пояснення.

Як не парадоксально, таке пояснення було запропоновано задовго до результатів Хаббла 1929 року. Справді, правим був Аристотель, стверджуючи: «Навіть відоме відомо лише небагатьом». Пояснення було пов'язане із загальною теорією відносності, побудованою Альбертом Ейнштейном. Олександр Фрідман (1888–1925) в 1922 році знайшов точні розв'язання рівнянь загальної теорії відносності, згідно з якими Всесвіт розширюється. Без перебільшення, ця робота стала революційним проривом у науці про Всесвіт. Після цього теорія незмінного вічного Всесвіту припинила своє існування. Згідно з отриманими результатами усі зірки, галактики віддаляються від будь-якої точки спостереження так само, як і від Землі (в точній відповідності із ще на той час не відкритим законом Хаббла). В 1927 році Жорж Леметр (1894–1966) також побудував модель Всесвіту,

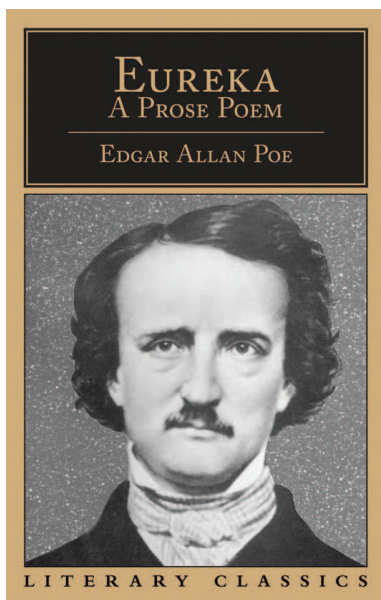


Рис. 1.3. Обкладинка поеми «Еврика» з портретом автора — Едгара Аллана По.

що розширюється. Він одержав залежність між відстанню та швидкістю галактик, яку експериментально й визначив Хаббл.

Однак джерела таких глибокий ідей можна знайти ще раніше. Дивний факт, але подібну гіпотезу вперше сформулював, виходячи з теоретичних міркувань, американський письменник-романтик, творець форми сучасного детектива й жанру психологічної прози Едгар По (1809–1849) у своєму останньому творі — поемі «Еврика».

Ця незвичайна поема, написана в прозі, з підзаголовком «Досвід про матеріальний і духовний Всесвіт» з'явилася в 1848 році, задовго (приблизно за 80 років!) до відкриття Хаббла. Саме Едгар По став першою людиною, що передбачила теорію Великого вибуху Всесвіту. Він вважав, що Всесвіт виник з якоїсь

єдиної і унікальної «першочастинки», яка в деякий момент розділилася на величезну, але скінченну множину елементів.

У цьому, по суті, першому лірико-філософському дослідженні глибин космосу, настільки ж парадоксальному й містичному, як і його художні твори, Едгар По спирався на одну лише «чисту» інтуїцію. Насправді це не зовсім так. Він знав про відомий на той час парадокс Ольберса. Цей парадокс був відкритий французьким ученим Жан-Філіпом Луї Де Шезо (1718–1751) в 1744 році, але одержав назву парадокса Ольберса на честь німецького астронома. Ольберс значно пізніше, уже в XIX столітті тільки пропагував цей парадокс.

Формулювання його було дуже простим. Нехай Всесвіт нескінченний та існує протягом нескінченного часу. Тоді, в яку б точку неба ми не подивилися, промінь зору повинен уткнутися в якусь зірку. Оскільки Всесвіт існує вічно, світло від зірки встигне потрапити в наше око. Тоді все небо повинно бути щільно покритим зірками і яскраво світитися незалежно від часу доби. Це приблизно так, як ми бачимо, дивлячись здалеку на ліс, суцільну зелену «стіну». Парадоксально, що такого явища ми не спостерігаємо. Єдиним розумним поясненням, як зрозумів Едгар По, може бути скінченність часу існування Всесвіту. Наслідком скінченності часу існування Всесвіту є факт його народження.

Усе життя Едгар По вірив у Розум, який один здатний вивести людину й людство із трагічних протиріч буття.

Свою книгу Едгар По без перебільшеної скромності зазначив «найбільшим одкровенням, яке коли-небудь чуло людство». Зрозуміло, ця поема містила суміш геніальних здогадів, помилок і наївних тверджень і на науку про Всесвіт не виявила

ніякого впливу. Великий Альберт Ейнштейн висловився про «Еврику» так: «Гарне досягнення на диво незалежного розуму». Усе життя Едгар По вірив у Розум, який один, з точки зору письменника, здатний вивести людину й людство із трагічних протиріч буття.

There are some qualities — some incorporate things,
That have a double life, which thus is made
A type of that twin entity which springs
From matter and light, evinced in solid and shade.

Edgar Allan Poe «Silence»

Є сутності й властивості, які
Живуть двоїсто, суті їх глибинь
У тому, що природою близькі
Матерія і світло, річ і тінь.

Едгар По. Переклад Анатолія Оніщика

Отже, Хаббл довів експериментально, що наш Всесвіт розширюється, і, що не менш важливо, встановив швидкість розширення Всесвіту. І це абсолютно змінює наш погляд на Світ. До цього відкриття вважалося, що Всесвіт існував вічно. Тепер виявилось, що якщо подумки повернути час назад, то наш Всесвіт почне стискатися і стиснеться через якийсь час у точку. Час цього стискання можна обчислити за експериментальними даними Хаббла. Виходить, час існування нашого Світу скінченний та існує дата його народження.

Час народився 13.77 млрд років тому.

За сучасними даними ця грандіозна подія відбулася 13.77 ± 0.059 млрд років тому. Так виникла Теорія Великого Вибуху —

народження Всесвіту. Слід зазначити, що Час також народився 13.77 ± 0.059 млрд років тому.

Науково обґрунтований сценарій виникнення нашого Всесвіту, що розширюється, (сучасний уточнений сценарій називається Стандартна Космологічна Модель) розроблений на проміжках часу більших, ніж 10^{-43} секунд від початку. Фізична теорія для опису від 0 до 10^{-43} секунди поки відсутня. Це винятково маленький відрізок часу. Зрозуміло, ми не будемо детально викладати у популярній книзі всі відомі етапи розвитку Всесвіту. Обмежимося тільки узагальненими зрозумілими етапами. Так з 10^{-42} секунди до 10^{-36} секунди відбувалося різке розширення Всесвіту. Цей період прийнято називати космологічною інфляцією. Після цього Всесвіт наповнювала кварк-глюонна плазма. Кварки — фундаментальні частинки, що утворюють адрони. До складу адронів входять мезони і баріони. Глюони — елементарні частинки, переносники сильної взаємодії.

Далі, за час від 1 секунди до трьох хвилин, продовжувалось розширення та відповідно охолодження матерії. При охолодженні такої плазми почали утворюватися баріони — це вже більш знайомі нам частинки, такі як протони, нейтрони і антипротони, антинейтрони. При подальшому розширенні та, відповідно, охолодженні Всесвіту відбулася анігіляція більшості частинок і античастинок і з'явилися лептони й електромагнітне випромінювання. У Всесвіті залишилися тільки «невелика» кількість матерії. Настає час нуклеосинтезу. Звичайною мовою це означає створення ядер водню, гелію, літію та їхніх ізотопів. За три хвилини первинний нуклеосинтез закінчується. Після закінчення цієї стадії ядра водню, гелію, дейтерію і літію приблизно за кількістю становили відповідно 75%, 25%, $3 \cdot 10^{-5}\%$ і $10^{-9}\%$. Ядра з п'ятьма і більше нуклонами нестійкі в цих умовах.

Так з'являються ядра водню, гелію, літію. Подальше охолодження Всесвіту призводить, через всього лише 380 000 років, до формування атомів. Атоми електрично нейтральні, і тому

в цей момент Всесвіт стає прозорим для електромагнітного випромінювання. Тоді первинне електромагнітне випромінювання почало вільно поширюватися по просторах Всесвіту і збереглося до нашого часу. Його назвали реліктовим випромінюванням.

Першим на це звернув увагу Георгій Гамов, видатний фізик, що народився в Одесі. Власне він і запропонував модель гарячого Всесвіту, що доповнює уявлення про Великий вибух. Потім він спробував визначити пропорцію первинних хімічних елементів (водню, гелію, літію), що виникли в нашому Всесвіті. Спільно зі своїм аспірантом Ральфом Альфером йому вдалося одержати розподіл первинних хімічних елементів. Одеський гумор Гамова виявився в тому, що в склад авторів статті, відправленої до престижного наукового журналу *Physical Review*, він включив ще одного фізика Бете. Усе це для того, що в такій комбінації прізвищ авторів *Alpher-Bethe-Gamow* це нагадувало $\alpha\beta\gamma$ — три перші букви грецького алфавіту. Зрозуміло, Бете не тільки не брав участь у роботі, але і не давав згоду на публікацію. Тепер цю статтю іноді називають $\alpha\beta\gamma$. Крім цього, Гамов зрозумів, що має існувати первинне, або реліктове випромінювання, виходячи з першої теорії Великого вибуху. Реліктове випромінювання було передбачено Георгієм Гамовим, Ральфом Альфером і Робертом Германом. Гамов у своїй роботі оцінив, до якого рівня знизиться температура цього випромінювання при розширенні Всесвіту, і для нашого часу одержав значення $3K$. До цього ми повернемося, обговорюючи експериментальну перевірку реліктового випромінювання. Пояснення особливостей реліктового випромінювання вважається одним з головних напрямків досліджень сучасної космології.

Історія експериментального відкриття реліктового випромінювання, як часто і життя, досить трагікомічна.

Вчені з Принстонського університету Роберт Дікке і Джеймс Піблс, міркуючи над концепцією Великого вибуху, зрозуміли, що реліктове випромінювання може бути виявлене експериментально. Його виявлення мало стати одним з найбільших



Рис. 1.4. *Видатний фізик Георгій Антонович Гамов (1904–1968) працював у галузі квантової механіки, ядерної фізики, астрофізики, космології, біології.*

відкриттів ХХ століття. Об'єднавшись із Дэйвом Уілкінсоном і Пітером Роллом, вони почали роботу зі створення апаратури, здатної виявити реліктове випромінювання. Джеймс Піблс навіть оголосив на лекції очікувані передбачення.

У цей час два дослідники лабораторії корпорації Bell Telephone Арно Пензіас і Роберт Уілсон намагалися довести, що всі шуми в їхньому приймачі — це електронні шуми апаратури. Для цього вони направили дуже чутливу антену в космос. Вони очікували виявити повну відсутність зовнішніх шумових сигналів. Яким був їхній подив, коли вони виявили випромінювання з температурою $3K$, яке спостерігалось незалежно від того, куди направлялася антена! Дивний збіг із передбаченням Гамова! Після ретельної перевірки і виключення всіх мислимих

артефактів Пензіас і Уїлсон дійшли висновку, що цей сигнал надходить із космосу. До складу таких артефактів входив навіть голубиний послід на антені, виявлений і вилучений дослідниками. Зрозуміло, вони не знали про реліктове випромінювання, їхньою метою було мінімізувати шуми.

Однак переказ лекції Піблса дістався до Пензіаса, й він подзвонив Дікке. Дікке після розмови сказав колегам: «Хлопці, нас обскакали!» Слід зазначити, що в опублікованій після цього статті Пензіас і Уїлсон не згадували про Великий вибух не тільки в назві, але і в тексті. Вони написали: «Можливе пояснення надлишкової шумової температури, яка спостерігається, надано Дікке, Піблзом, Роллом і Уїлкінсоном (1965) у супроводжуючій нотатці в цьому випуску».

Вчені з Принстона через кілька місяців підтвердили існування реліктового випромінювання.

В 1978 році Пензіас і Уїлсон одержали Нобелівську премію за відкриття мікрохвильового реліктового випромінювання. Вчені з Принстона, як втім і Гамов, хоча і заслуговували, але Нобелівської премії не одержали. Заради справедливості слід зауважити, що Джеймс Піблз все-таки отримав Нобелівську премію з фізики в 2019 році спільно з Мішелем Майором і Дідьє Келом. Піблз — за теоретичні відкриття в фізичній космології (половину премії), Мішель Майор та Дідьє Кело — за відкриття екзопланети, яка обертається навколо зірки сонячного типу (другу половину).

Життя зібрав би я із мудрих справ;
Лиш тут не зміг, а тут пуття не знав...
Та тільки Час — оце великий вчитель:
Відважить копняка — і розуму додав!

Омар Хайям¹. Переклад Ганни Яновської

¹Це скорочений варіант його імені — Гійясаддін Абу-ль-Фатх Омар ібн Ібрахім аль-Хайям Нішапурі.

Вивчення реліктового випромінювання на цьому не припинилося. Справа в тому, що воно несе інформацію про стан нашого Всесвіту в зовсім «дитячому» віці — всього 380 000 років. Щоб уявити в порівнянні з нашими масштабами цей інтервал часу, припустимо, що сучасний вік Всесвіту відповідає середньому віку людини — 40 років, тоді вік Всесвіту 380 000 років відповідає 9-годинному віку цієї людини. Дійсно, дитячий вік! Тому, вивчаючи реліктове випромінювання, його однорідність та ізотропність, можна виявити відхилення від Космологічного принципу та побачити ті випадкові структури, що породили зірки, галактики...

В 2003 році космічний апарат НАСА¹, призначений для вивчення реліктового випромінювання — WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), надав фантастично докладну інформацію про Всесвіт, який віддалений від свого народження всього на 380 000 років. Фактично була отримана фотографія акту утворення Всесвіту, або енергії Великого Вибуху, яка наповнює Всесвіт уже 13.7 мільярдів років. Апарат зняв на плівку карту флуктуацій температур мікрохвильового реліктового випромінювання на небесній сфері (див. Рис.1.5), інакше кажучи, температуру реліктового випромінювання в усіх напрямках. Відмінність температур у різних напрямках і характеризує анізотропію Всесвіту. Ці малі² випадкові флуктуації підпорядковані нормальному закону розподілу. За таким законом розподілено безліч звичайних величин. Наприклад, зріст людей або швидкості частинок газу підпорядковуються нормальному закону розподілу.

¹Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору, агентство федерального уряду США. National Aeronautics and Space Administration (NASA).

²Величина цих флуктуацій сягає всього лише 0.01%.

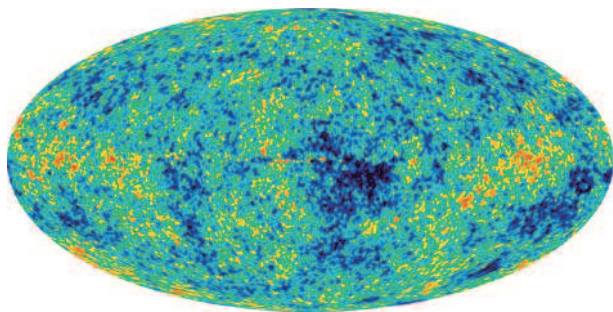


Рис. 1.5. Картина інтенсивності реліктового світла нашого Всесвіту. Кольори позначають найдрібніші коливання температури реліктового випромінювання: червоний — найвища температура, а синій — найнижча. Власне, ці флуктуації й породили всі наявні структури нашого Всесвіту.

Образно кажучи, WMAP виміряв відлуння Великого Вибуху, або акту створення, надавши найбільш точні дані про вік Всесвіту.

Ці дані дозволили обчислити вік Всесвіту, про який ми вже говорили вище, 13.77 ± 0.059 млрд років з надзвичайною точністю для космології. Точність становить один відсоток. У певному сенсі, ґрунтуючись на цьому досягненні, можна сказати, що космологія змінила свій статус. Вона перейшла зі стану наук, що спостерігають, до класу точних наук. Окрім цього, параметри нормального розподілу флуктуацій температур мікрохвильового реліктового випромінювання добре узгоджуються зі Всесвітом, що складається із 4% звичайної речовини, 23% темної матерії і 73% темної енергії. Ці дані згодом було уточнено. Згідно з уточненими даними 2013 року, отриманими астрономічним супутником Планк, у Всесвіті 4.9% звичайної матерії, 26.8% темної матерії і 68.3% темної енергії. Дві останні компоненти нашого Всесвіту потребують більш докладного обговорення.

Питання про наповнення Всесвіту було важливим з самого початку, як тільки з'явилися рішення Фрідмана. Передбачити долю Всесвіту можна, тільки знаючи густину матерії або енергії у Всесвіті. З точки зору спеціальної теорії відносності маса і енергія пов'язані одне з одним всім відомою формулою $E = mc^2$. Ліворуч від знаку рівності стоїть енергія, праворуч маса, помножена на квадрат швидкості світла. Це найвідоміша фізична формула. Вона стверджує еквівалентність маси та енергії. Насамперед, пошук густини матерії можна було почати, використовуючи маси зірок у Всесвіті, припустивши, що основна частина матерії зосереджена в зірках. Але як дізнатись про маси настільки віддалених об'єктів?

Більш менш надійно можна встановити маси лише подвійних зірок, використовуючи закони Кеплера. Аналіз більш ніж 100 таких подвійних зірок дозволив встановити статистичний зв'язок між їхніми масами та світністю. Тоді маси зірок можна встановити по їхній світності. Звичайно, цікаво було перевірити ці дані ще й іншими методами.

Склад Всесвіту: 4.9% звичайної матерії, 26.8% темної матерії й 68.3% темної енергії.

Ця перевірка привела до несподіваного результату. В 1937 році Фріц Цвіккі взявся за дослідження скупчення галактик Кома, більш відомого нам під назвою Волосся Вероніки. Основним об'єктом його уваги були відносні швидкості галактик у цьому скупченні. За цими швидкостями можна було визначити масу цього скупчення галактик. Маса, оцінена по світностях галактик, була відома. Після обробки результатів виявилось, що маса цього скупчення перевищує оцінену по світності приблизно в 500 разів. Така відмінність може бути пояснена тільки наявністю прихованої маси, яка одержала назву темна матерія.



Рис. 1.6. Галактичне скупчення Abell 1689. Фіолетовим кольором показане гало темної матерії, синтезоване за допомогою комп'ютера за експериментальними даними.

Звичайно, було докладено безліч зусиль для перевірки цього спостереження. Сам Фріц Цвіккі та інші вчені спробували уточнити ці дані, вимірюючи ротаційні швидкості супутників різних галактик. Очевидно, що ця швидкість має зменшуватися з віддаленням від джерела гравітаційного поля. Причину цього можна зрозуміти навіть у рамках ньютонівської гравітації, прирівнюючи відцентрову силу до сили гравітаційного притягання. Із цього рівняння легко встановити закон зменшення ротаційної швидкості при віддаленні від масивного тіла. Численні спостереження не виявили такого зменшення. Такі результати можна було пояснити тільки тим, що маса продовжує збільшуватися з віддаленням від видимого об'єму, зайнятого галактикою. Інакше кажучи, галактика оточена великою невидимою хмарою, більшою за неї за розміром. Так було виявлено гало темної матерії, що оточує галактику (див. Рис.1.6). Зараз існування темної матерії підтверджене різними експериментами.

Виявилося, що в нашому Всесвіті темна матерія займає 26.8%. Забігаючи вперед, зазначимо, що відомі нам форми енергії вносять тільки 4.9% у загальну густину, а 68.3%, що залишилися, становить темна енергія. По іронії, щойно людству стало здаватися, що майже все тією чи іншою мірою може пояснюватися вже існуючими теоріями, виявилося, що лише 4.9% складу Всесвіту доступно нашим знанням.

Досі найбільш загадковим питанням залишається склад виявленої темної матерії. Властивості темної матерії, що узгоджуються з експериментальними спостереженнями, здаються дивними і не притаманними відомим формам матерії. Що це таке — одна з глобальних загадок Всесвіту. Зараз вчені активно намагаються розгадати цю загадку.

В 1998 році відбулася подія, що приголомшила наш Світ. Зрозуміло, для звичайних людей це пройшло непомітно. Були отримані нові експериментальні дані, які дозволили встановити, що наш Всесвіт розширюється із прискоренням! Цей факт виявили, спостерігаючи за спалахами наднових зірок, що належать до білих карликів, або типу Ia (див. Рис.1.7). Ці об'єкти мають однакові маси і, відповідно, однакову світність. Під час їхнього вибуху звільняється величезна енергія. Тому світло від їхніх спалахів поширюється на відстані, порівняні з розміром Всесвіту. Такі спалахи прийнято називати «стандартними свічками».

Головна причина зменшення інтенсивності прийнятого світла полягає у віддаленості надрової. Дійсно, світло поширюється у всіх напрямках від спалаху і, отже, його інтенсивність зменшується обернено пропорційно квадрату відстані від спалаху до спостерігача. Таким чином, це один з небагатьох інструментів визначення відстаней до віддалених об'єктів Всесвіту, який є в нашому розпорядженні.

Оцінюючи кількість наднових, слід враховувати, що приблизно кожна сота зірка закінчує життя таким яскравим спалахом. Середня оцінка числа спалахів у типовій галактиці дає приблизно кілька спалахів за тисячоліття. Однак, галактик настільки

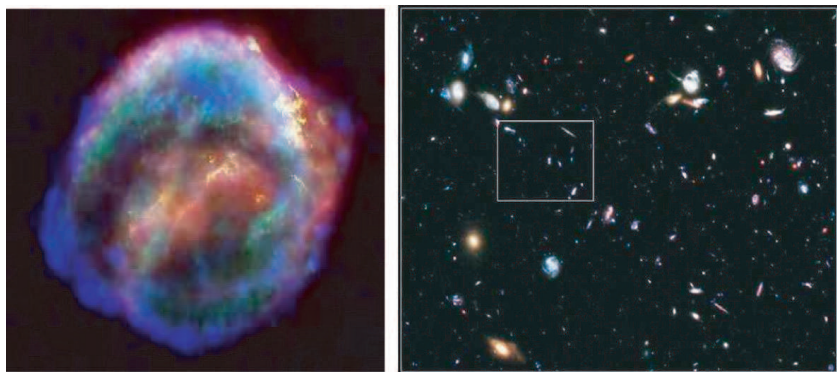


Рис. 1.7. *Ліворуч залишок наднової Кеплера. Праворуч виявлена телескопом «Хаббл» найвіддаленіша наднова типу Ia, яка спалахнула більш ніж 9 мільярдів років тому. На той час ще не існувало наше Сонце і Земля. Цей знімок був зроблений в 2010 році.*

багато, що нестачі у наднових немає. Використовуючи результати спостережень двох груп вчених Supernova Cosmology Project і High-Z Supernova Search приблизно за сімдесятьма надновими, вдалося довести, що Всесвіт розширюється прискорено. За ці фундаментальні результати Сол Перлматтер, Брайан Шмідт і Адам Рісс в 2011 році одержали Нобелівську премію. До цього часу прискорене розширення Всесвіту було підтверджено й іншими експериментальними методами.

Можна тільки дивуватися, яке глибоке наше незнання і як багато ще треба дізнатись.

Парадоксальність прискореного розширення Всесвіту пов'язана з властивостями гравітації. Можна довести, що із властивості тільки притягіння гравітацією та позитивності тиску

енергії, як у випадку звичайної матерії, витікає неможливість прискореного розширення Всесвіту.

Таким чином, потрібно зробити радикальні зміни в картині Всесвіту. Для цього є дві можливості. Це або змінити загальну теорію відносності Ейнштейна, або зберегти її, але додати нову форму енергії. В останньому випадку необхідно наповнити Всесвіт якимось «середовищем», що має негативний тиск. Зараз наявність такого середовища виглядає цілком обґрунтованою. Це середовище отримало назву «темна енергія». Властивості такого середовища виглядають вкрай незвичайними. Її енергія росте зі збільшенням розширення Всесвіту, розподілена вона винятково однорідно по всьому простору. Цим вона суттєво відрізняється від темної матерії, яка зосереджена поблизу масивних об'єктів. Інакше кажучи, темна матерія розподілена неоднорідно. Якщо прийняти наявність цих компонентів, то ми приходимо до Стандартної космологічної моделі.

Отже, сучасна картина Всесвіту постулює незнання найглобальніших властивостей нашого Всесвіту. Густина енергії в нашому Всесвіті дуже близька або збігається із критичною густиною. Це така густина матерії (речовини й енергії), від якої залежать глобальні геометричні властивості Всесвіту. Так, якщо густина матерії дорівнює критичній, то наш Всесвіт плоский, якщо менше критичної, то Всесвіт — відкритий, і нарешті якщо більше, то Всесвіт — замкнутий. Тому простір нашого Всесвіту має близьку геометрію до Евклідової. При цьому густина всіх відомих нам форм енергії становить 4.9%, внесок темної матерії становить 26.8% і темної енергії — 68.3%. Інакше кажучи, нам нічого невідомо про 95.1% енергії, що наповнює наш Всесвіт. Це дивний факт на тлі грандіозних успіхів науки! Можна тільки дивуватися, яким глибоким є наше незнання і як багато ще треба дізнатись.

Я тільки й знаю, що знання шукаю,
В найглибші таємниці проникаю,
Я думаю вже сімдесят два роки
І бачу, що нічого я не знаю.

Омар Хайям «Рубаї». Переклад Василя Мусика

Обговорюючи Стандартну космологічну модель, згадаємо ще одну історію. Ейнштейн, одержавши рівняння загальної теорії відносності, помітив, що вони не мають статичних розв'язків. Інакше кажучи, вічний і незмінний Всесвіт не вписувався в загальну теорію відносності. Це не задовільнило вченого з точки зору фізики і, щоб врятувати становище, він додав у рівняння космологічний член. Цей член відповідав у деякому сенсі антигравітації, яка була потрібна для компенсації гравітаційного тяжіння й збереження Всесвіту в стаціонарному стані. Зрозуміло, що все це відбувалось ще до того як Фрідман, а потім Леметр, знайшли рішення рівнянь загальної теорії відносності. Коли Всесвіт, що розширюється, був підтверджений експериментальними спостереженнями, Ейнштейн визнав: «Введення космологічного члена було найбільшою помилкою мого життя». Іронія долі полягала в тому, що для пояснення прискореного розширення Всесвіту він знову знадобився. Одне з простих пояснень прискореного розширення полягає у відмінності від нуля позитивної космологічної сталої $\Lambda = 1.1056 \times 10^{-52} m^{-2}$. Ця фундаментальна стала відповідає густині енергії вакууму. Як не згадати суперечки навколо ефіру до відкриття спеціальної теорії відносності! Космологічний член і космологічна стала входять у сучасну Стандартну Космологічну Модель.

Слід зазначити, що передбачення Стандартної Космологічної Моделі настільки добре узгоджуються із сучасними фактами, які спостерігались, що настала ера «космологічної згоди». Процес зміни космологічних уявлень відбувся дуже швидко. Це різночине відрізнялося від процесів зміни фундаментальних уявлень у минулому. Для того щоб зрозуміти це, досить звернутися до



Рис. 1.8. Альберт Ейнштейн, який вніс величезний внесок у розуміння Всесвіту.

думки геніального фізика Макса Планка, який писав: «Зазвичай нові наукові істини перемагають не так, що їх супротивників переконують, і вони визнають свою неправоту, а здебільшого так, що супротивники ці поступово вимирають, а підростаюче покоління засвоює істину відразу».

1.2. День народження Сонця

Наша зірка — Сонце — розташована на околиці галактики Чумацький шлях. Згідно з прийнятою класифікацією зірок це звичайний жовтий карлик класу G2. Це абсолютно звичайна зірка. У повній відповідності з принципом Коперника вона нічим не виділена серед інших зірок нашої Галактики. У нашій Галактиці є зірки набагато більші, яскравіші, щоправда, є й менші і тьмяніші. Навколо Сонця обертаються планети і їх супутники, карликові планети, астероїди, комети і космічний пил, утворюючи Сонячну систему. Головна маса речовини Сонячної системи зосереджена у Сонці. Так, маса всієї Сонячної системи становить 1.0014 маси Сонця $M_{\odot}$. Тобто, лише 0.0014 маси Сонця залишається на все, що є в нашій Сонячній системі окрім Сонця. Ця залишкова маса головним чином розподілена між 8 планетами, які обертаються в одній площині по орбітах, близьких до кругових. Сонячна система — також рядова зоряна система Галактики, що не має ніяких унікальних властивостей.

Ми бачимо тільки минуле. Теперішнє побачити неможливо!

Тому, якщо зрозуміти, як утворилася Сонячна система, можна одержати універсальні знання про створення й інших зоряних систем. Тут доречно нагадати, що ми здатні побачити тільки минуле, а не сьогодення. Це важлива властивість, яка може допомогти з експериментальним підтвердженням теорій створення зоряних систем. Дійсно, якщо ви подивитесь на свого знайомого, то побачите, яким він був у минулому. Причина цього в скінченності швидкості світла. Світлу потрібен якийсь час, щоб досягти ваших очей. Зрозуміло, це буде найближче минуле через малу відстань до вашого знайомого і велику швидкість світла. Однак важливий сам факт — ми бачимо тільки

минуле, а не теперішнє. Теперішнє побачити неможливо! Ясно, що чим далі об'єкт спостереження, тим більше часу потрібно світлу, щоб досягти нашого ока і, виходить, тим більш віддалене минуле ми бачимо. На масштабах Всесвіту можна побачити дуже віддалене минуле. Проблема тільки в телескопі, наскільки віддалене минуле він здатний побачити.

Створення Сонячної системи є одним із найбільш захоплюючих питань, над яким замислювалися ще в XVIII столітті філософ Іммануїл Кант і математик, фізик і астроном П'єр-Симон Лаплас (1749–1827). «Наше пізнання починається зі сприйняття, переходить у розуміння і закінчується причиною. Немає нічого важливішого за причину», — вважав Кант.

Во всем мне хочется дойти
До самой сути.
В работе, в поисках пути,
В сердечной смуте.
До сущности протекших дней,
До их причины,
До оснований, до корней,
До сердцевины.
Борис Пастернак «Во всем мне хочется дойти...»

В житті я хочу до всього
Дійти до сенсів,
В роботі на шляху моїм,
До донців серця.
До сутності всіх днів моїх,
До їх причини
Та до незнаних берегів,
До правд глибини.
Борис Пастернак. Переклад Олесі Райської

Кант, а слідом за ним і Лаплас запропонували небулярну гіпотезу. За цією назвою ховається гіпотеза про створення

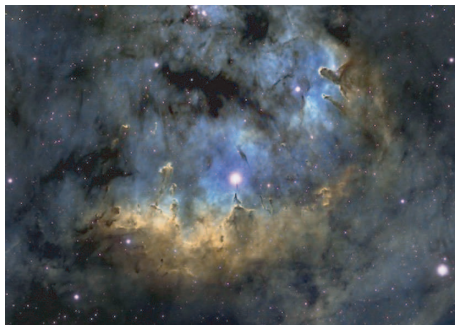


Рис. 1.9. Протопланетний диск і формування згустків в газопиловій хмарі можна виявити на знімку, отриманому телескопом «Хаббл».

Сонячної системи з газопилової хмари. Відмінність між гіпотезами полягала в тому, що Кант припускав створення Сонячної системи з холодної газопилової туманності, а Лаплас — з гарячої туманності, яка обертається. Нові дані, які надходили в процесі космічних досліджень, приводили до послідовних уточнень цієї гіпотези.

Походження і склад газопилової хмари теж досить цікаві. Зрозуміло, вона складалася з водню й гелію, що виникли при народженні Всесвіту, але до її складу входили й важкі елементи.

Сонце не входить до числа піонерів нашого Всесвіту.

Звідки вони могли з'явитися? Єдина можливість — створити їх у надрах зірок. Дійсно, реакція синтезу гелію з водню може вичерпати ресурси водню зірки. Тоді деякі зірки можуть перемкнутися на синтез більш важких елементів з гелію. У таких

реакції синтезується берилій, а потім вуглець. Звернемо увагу на важливість цього елементу для людини і для життя взагалі.

Однак у надрах зірок можуть синтезуватися елементи, не важчі за залізо. Ядро заліза має максимальну енергію зв'язку на один нуклон, тому подальший їхній синтез енергетично невигідний, а отже і неможливий. Але до складу газопилової хмари входили елементи і значно важчі від заліза. Виявилося, що ці елементи можуть виникати при вибухах наднових. В процесі спалаху надгової зірки виділяється гігантська енергія, потрібна для злиття легких ядер та утворення більш важких елементів. Крім цього, утворюється велика кількість вільних нейтронів. Легкі ядра захоплюють нейтрони, мігруючи по таблиці Менделєєва до більш важких елементів. Такий механізм поглинання нейтрона з випромінюванням зайвої енергії у вигляді γ -кванта припиняється, коли швидкість розпаду ядра стане більшою за швидкість реакції поглинання нейтрона. Ще більш екзотичним виглядає цілком реалістичний механізм створення важких елементів при злитті двох нейтронних зірок!

Ми складаємося з речовини, яка народжена зірками.

Тоді відразу стає очевидним, що наше Сонце не входить до числа піонерів нашого Всесвіту. Повинно було змінитися багато поколінь зірок. Вони народжувались та помирали, готуючи матеріал для нашої Сонячної системи. Сонце містить досить багато елементів, важчих за водень, гелій і літій, отже, виникло на відносно пізніших етапах еволюції Всесвіту.

Це означає, що Земля і навіть наші тіла складаються з речовини, яка народжена зірками!

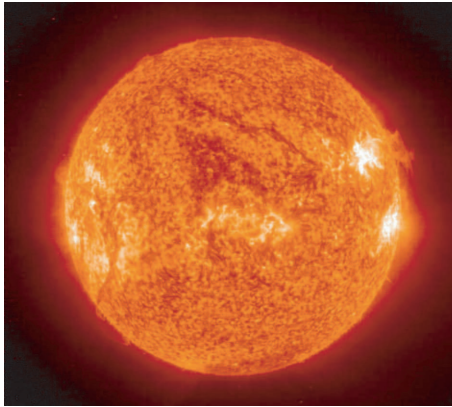
За сучасним даними Сонячна система виникла при гравітаційному стисканні газопилової хмари приблизно 4.57 млрд років тому. Ця точка зору виявилася найближчою до уявлень Канта. Цікаво відзначити, що газопилові хмари й процес формування ущільнень можна безпосередньо побачити в космічний телескоп «Хаббл» (Рис.1.9). Інакше кажучи, за допомогою цього телескопу можна зазирнути в далеке минуле нашого Всесвіту.

Найзагадковіша частина історії полягає у виникненні спонтанного ущільнення газопилової хмари. У цього явища може бути кілька причин. Однією з таких причин могла стати флуктуація густини при русі хмари. Таке ущільнення могло виникнути і при проходженні ударної хвилі, що виникла під час вибуху наднової. Можна висловити гіпотези і про інші причини ущільнень.

Однак важливо, що після виникнення таке ущільнення за рахунок гравітаційного тяжіння почало поглинати навколишню речовину й стало центром створення масивного тіла. Речовина газопилової хмари могла обертатися та мати початковий момент імпульсу. А чому б і ні! Тому зі зменшенням її розмірів при гравітаційному стисканні швидкість її обертання теж зростала. Це наслідок закону збереження моменту імпульсу. Саме із цієї причини швидкість обертання фігуриста збільшується, коли він притискає руки до тіла. Під дією цих процесів формується характерна дископодібна форма хмари, яка обертається.

Слід зазначити, що за відсутності обертання відсутня і відцентрова сила, спрямована у протилежному до сили тяжіння напрямку, і швидше за все в цьому випадку вся речовина поглинеться одним тілом. Інакше кажучи, не буде планет і вже точно не буде спостерігача в такої зоряної системи. Використовуючи антропний принцип, можна сказати що життя могло з'явитися тільки в цьому випадку і тільки таку Сонячну систему ми й могли спостерігати.

У сучасній космології антропний принцип і його різні варіанти використовуються для «пояснення», наприклад, значень

Рис. 1.10. *Наша зірка Сонце.*

фундаментальних фізичних сталих у нашому Всесвіті. Увагу до цього принципу в 1973 році привернув фізик Брэндон Картер у статті «Збіг великих чисел і антропологічний принцип у космології». Антропний принцип стверджує: те, що ми можемо спостерігати, має бути обмежене умовами, необхідними для існування спостерігача — людини. Ясно, що якщо людина не могла існувати в цих умовах, то ми і не можемо їх спостерігати.

Повернемося до виникнення Сонячної системи. При подальшому стисканні щільність хмари збільшувалася. Відповідно, збільшувалася й частота зіткнень частинок матерії. Температура при цьому зростала. У центральній частині хмари зростання температури було найбільш інтенсивним. Коли температура цієї частини зросла до декількох тисяч кельвінів, народилася протозірка, що світиться. Гравітаційне тяжіння продовжувало притягати речовину хмари, і потік речовини в зірку збільшував тиск і температуру протозірки. Нарешті, при досягненні температури порядку мільйонів кельвіна спалахнула термоядерна реакція синтезу гелію з водню, і у цей момент протозірка перетворилася у звичайну зірку — Сонце.

У речовині цього диску, що залишилась, виникли окремі ущільнення, які ще не є зародками планет. На цій стадії домінують скоріше дифузійні процеси ущільнення. Частина пилових частинок продовжує падати на Сонце. На певній відстані від нього ці частинки нагріваються — і всі летючі компоненти випаровуються. Для Сонячної системи ця відстань перебуває між орбітами Марса і Юпітера й називається лінією льоду. Сонячний вітер видуває їхні летючі компоненти за межі цієї лінії. Тому лінія льоду ділить Сонячну систему на внутрішню частину, що містить тверді компоненти, і зовнішню частину, яка містить летючі компоненти і лід. Сонячний вітер формується випромінюванням зірки у вигляді потоку іонізованих частинок, або плазми, які рухаються зі швидкістю приблизно 300-1200 км/сек у навколишній космічний простір. Поступово порошинки збираються в невеликі тіла, так формуються планетезималі кілометрових розмірів. Це пояснює розташування планет Сонячної системи в одній площині та їхнє обертання навколо Сонця в одному напрямку. Таких планетезималей дуже багато.

Народження планет та їх молоде життя пов'язане з багатьма небезпеками.

Слід зазначити, що у Всесвіті вчені виявили багато зірок, оточених газопилоподібними дисками. Таким чином, можна вважати, що ця частина підтверджується експериментально. У зірок, віком від 1–3 млн років ці диски газові, а в зірок, старших за 10 млн років, диски мають слабкий газовий компонент. Зірка видуває газ зі своєї системи. Зрозуміло, наявність малих планетезималей поки що неможливо виявити експериментально.

Далі відбувається процес зіткнень таких тіл, який може приводити як до росту планетезималей, так і до їхнього руйнування. На цій стадії домінують два процеси — коагуляція

і фрагментація. Ті, що вижили в конкурентній боротьбі стають планетами, але, як завжди, таких небагато.

Народження планет та їхнє молоде життя супровожувалось багатьма небезпеками. Драматичні події залишили незабутні сліди у нашій планетній системі. Про це ми поговоримо далі.

1.3. День народження Землі

Мільярди планетезималей, зустрічаючись, утворюють тіла розміром з Місяць, які можна назвати зародками планет. На цій стадії домінує випадковість, але чим більшою стає планетезималь, тим більше її гравітаційне тяжіння. Для тіл розміром з Місяць і більше їхнє гравітаційне поле починає впливати на оточення. Таким чином виникає безліч зародків планет приблизно однакової маси. Тепер вони конкурують у боротьбі за речовину, що залишилася. Образно кажучи, зона «живлення» зародка — це смуга, що включає його орбіту. Ріст припиняється після поглинання всіх планетезималей і газу цієї смуги. Враховуючи наявність лінії льоду, можна зрозуміти, що планети внутрішньої частини складаються в основному з твердих компонентів, а за лінією льоду розташовані газові планети. При цьому в системі утворюється надлишок тіл, що прагнуть стати планетами. Їхні орбіти досить близькі. Частина їх буде викинута із зоряної системи.

But down he came. — Alas, how frail
Our best of hopes, how soon they fail!

William Blake «Blind man's buff»

Та він упав, собі на шкоду.
На жаль, крихка надій природа!

Вільям Блейк. Переклад Ганни Яновської

Слід зазначити, що ще недавно, розмірковуючи про формування планетних систем, ми ґрунтувалися на єдиному відомому нам прикладі — Сонячній системі. Сьогодні відкрито понад 3000 планетних систем, з яких близько 700 напевно мають більше однієї планети. Тому спектр прикладів суттєво розширився. Також були виявлені блукаючі планети в зоряних скупченнях, що не входять до складу зоряних систем. Це підтверджує можливість викиду планет зі своєї зоряної системи



Рис. 1.11. Джордано Бруно на гравюрі 1830 року, створеній за оригіналом початку XVIII століття. Він стверджував, що зірки — це далекі сонця, навколо яких обертаються планети.

на етапі формування. Пошук екзопланет — планет, що обертаються навколо інших зірок, — інтенсивно продовжується. Хоча гіпотеза існування планет у інших зірок висловлювалася давно, це була все-таки гіпотеза. Досить згадати Джордано Бруно (1548–1600), якого інквізиція спалила на площі Квітів у Римі. В 1889 році був споруджений пам'ятник йому на місці спалення. Напис на пам'ятнику свідчить: «Джордано Бруно — від сторіччя, яке він передбачив, на тому місці, де запалили вогнище».

Тільки в наш час було експериментально доведене існування позасонячних планет та зоряних планетних систем у нашому Всесвіті! Це величезне досягнення Науки. В 2019 році двоє швейцарських фізиків Мішель Майор та Дідьє Кено отримали

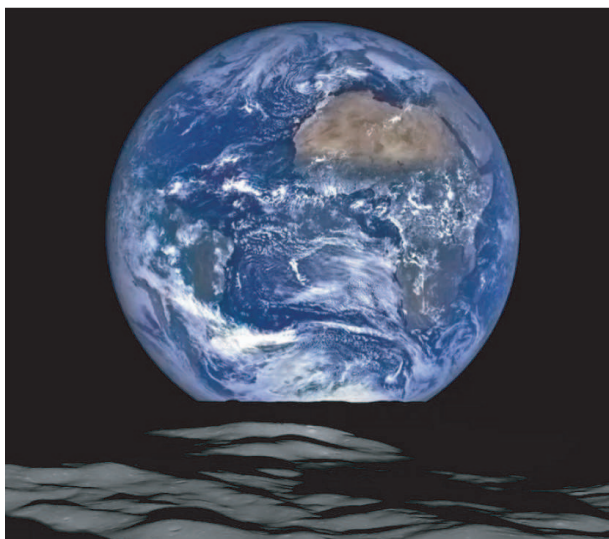


Рис. 1.12. Знімок Землі, зроблений апаратом *Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO)* з орбіти Місяця, опублікований NASA. На знімку видно також поверхню Місяця.

Нобелівську премію за відкриття першої екзопланети у 1995 році. Виявляється, існує разюче різноманіття досить екзотичних зоряних систем. І з інформацією про них ще належить розібратися.

Експериментально доведено існування інших планет і зоряних планетних систем у нашому Всесвіті.

Знову спалахнув інтерес до питання: чи самотні ми у Всесвіті та чи існують інші форми розумного життя? Обґрунтована відповідь на нього наразі відсутня.

Одним із перших питань, яке ставили люди, усвідомивши, що вони живуть на планеті Земля, було питання про її вік. Це було надскладне питання. Спочатку церковні теологи оцінювали вік Землі, ґрунтуючись на біблійних міфах. Більшість теологів сходилися в думці, що вік Землі становить кілька тисяч років, а оскільки тоді панувала геоцентрична картина світу, то і час існування Всесвіту мав той же порядок. Більше того, ірландський архієпископ Джеймс Ашшер, виконавши величезну роботу, почавши з хронологічних вказівок у Біблії, визначив, що планета Земля була створена 23 жовтня 4004 року до н. е. після обіду. Він навіть видав в 1650 році книгу «*Annales Veteris et Novi Testamenti*» (Літопис Старого й Нового завіту), в якій містився такий висновок.

Земля була створена 23 жовтня 4004 року до н. е. після обіду.

Тільки в XVIII столітті почали з'являтися науково обґрунтовані оцінки віку Землі. Багато видатних учених приділили значну увагу цьому питанню. Серед них був і фізик лорд Кельвін — Вільям Томсон (1824–1907), геолог Джон Філіпс (1800–1874) і навіть Чарльз Дарвін (1809–1882). Лорд Кельвін, ґрунтуючись на сталості теплопровідності земної речовини, спробував обчислити вік за часом остигання Землі. У нього вийшов вік Землі близький до 20–400 млн років. Модель Кельвіна спробував заперечити математик та інженер Джон Перрі (1850–1920) і одержав оцінку віку Землі 4 млрд років. Це вже близько до віку Землі, визнаного зараз.

Подальшого просування у пошуку відповіді довелося чекати до відкриття радіоізотопного методу датування. Цей метод був запропонований відомим фізиком Ернестом Резерфордом (1871–1937) у 1904 році. Він базується на простій ідеї. Якщо деяке тіло містить радіоактивний ізотоп, то про його вік можна

довідатися по частці цього ізотопу, що встигла розпастися. Існує багато варіантів цього методу відповідно до того, який ізотоп використовується. Дуже корисним для визначення віку Землі виявився уран-свинцевий метод. Через дефіс тут зазначений остаточний продукт розпаду урану.

Цей метод — один із найстаріших і надійних способів радіоізотопного датування, який застосовується до геологічних об'єктів, що містять уран. Він заснований на визначенні частки урану, що розпався за час існування об'єкта. Для надійності результату використовуються два ізотопи урану, розпад яких завершується різними ізотопами свинцю. Після відкриття цього методу з'ясувалося, що на Землі існує багато мінералів, вік яких більше мільярда років. У Західній Австралії були виявлені дуже давні дрібні кристали цирконію. Використовуючи сучасні методи уран-свинцевого датування, було встановлено, що такі кристали сформувалися дуже давно, $4 \div 4.4$ млрд років тому. Гірські породи порівняного віку на Землі відсутні.

Сучасна орієнтовна дата створення Землі — 4.54 ± 0.04 млрд років тому — відома і добре узгоджується з різними експериментальними фактами.

Дитинство нашої планети було важким.

Дитинство нашої планети було важким. Молода Земля зазнала ударів безлічі небесних тіл, які залишилися невикористаними під час утворення планет. Сліди таких бомбардувань бачив ще Галілей, направивши свій телескоп з 20-кратним збільшенням на Місяць. Зараз їх можна побачити в більш сучасні телескопи, розглядаючи поверхню Меркурія (див. Рис.1.13) або астероїдів. Багаторазове накладання кратерів один на одного переконує, що планети перебували під кулеметним вогнем планетезималей.



Рис. 1.13. Поверхня Меркурія. Видно безліч кратерів — слідів космічних бомбардувань. Знімок зроблений американською автоматичною міжпланетною станцією «Месенджер».

Крім цього, наша планета у молодості одержала потужний удар великою протопланетою розміром з Марс, що привело до народження Місяця, приблизно 4.527 ± 0.01 млрд років тому. Ця гіпотетична протопланета, неофіційно названа Тейєю, рухалася по орбіті, близькій до орбіти Землі. Варто відзначити, що назва запозичена із грецької міфології, Тейя — це мати богині Селени (Місяця). Ця подія, як ми зазначимо нижче, зіграла велику роль у виникненні життя на Землі. У якості експериментальних аргументів за цю теорію можна привести схожий хімічний склад кори нашого супутника та земної мантії. Це пояснює і наявність у Місяця настільки маленького залізного ядра.

Атмосфера Землі також зазнала істотних змін, починаючи із протопланетної стадії. Хоча вважається, що первинна атмосфера Землі складалася з метану, аміаку і вуглекислого газу, деякі експериментальні факти не дуже добре узгоджуються із цим твердженням.

Для того щоб оцінити достовірність фактів, зупинимося на одному зі способів, що дозволили заглянути в прадавню історію Землі. Як не дивно, для цього потрібно звернути увагу на дрібні кристалічні піщинки силікату цирконію. Ці міцні кристали можна виявити в різних гірських породах. Однак, якщо говорити про кристали, то хоча ми часто уявляємо їх як ідеальні періодичні структури, це уявлення сильно ідеалізоване. Немає кристалів без дефектів, і одним з типів таких дефектів є пори. Такі пори консервують склад газів, що потрапили в них на стадії створення. Виходить, вивчаючи газонаповнені пори у кристалах силікатів цирконію, можна відновити склад прадавньої атмосфери.

Аналіз мікроскопічних піщинок свідчить на користь створення їх за відносно низьких температур і, головне, за наявності води. Це погано узгоджується з уявленнями про суперактивну вулканічну діяльність у цей період. Очевидно, вона закінчилася раніше, приблизно після виникнення Місяця. Слід підкреслити, що народження Місяця сприяло стабілізації руху Землі і зменшенню хаотичної компоненти її руху. За цими даними на Землі встановився водний світ подекуди з островами та континентами. Аналіз газонаповнених пор у силікаті цирконію свідчить, що атмосфера складалася з окислених вулканічних газів діоксиду вуглецю, водяної пари, азоту і діоксиду сірки. Основна відмінність давньої праатмосфери від сучасної атмосфери полягає у відсутності кисню.

Континенти, мігруючи, іноді зливалися в один континент, щоб пізніше знову розпастися на окремі ізольовані континенти. Вважається, що близько 750 млн років тому розколовся суперконтинент Родинія. Потім, приблизно 600–540 млн років тому, її частини об'єдналися в Паннотію. Останній суперконтинент — Пангея — розпався 180 млн років тому, утворивши сучасні континенти, рух яких триває.

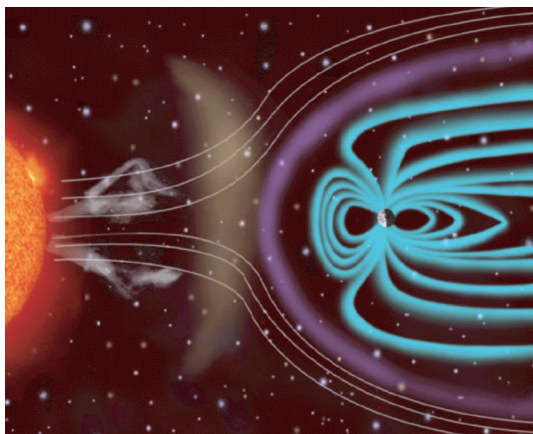


Рис. 1.14. Зображено дипольне магнітне поле Землі та його деформація сонячним вітром, що налітає.

Важливу роль зіграло й виникнення магнітного поля Землі близько 3.5 млрд років тому. Виник своєрідний щит, що захищає нашу планету від сонячної радіації.

Недавні результати вказують на більш раннє виникнення магнітного поля Землі. Вона придбала магнітний плащ приблизно 4.2 млрд років тому. Протягом майже 340 млн років поверхня нашої планети зазнавала посиленої радіаційної обробки. Для з'ясування цього факту виявилися корисними вже згадувані вище кристали циркону. Виявилось, що деякі такі кристали містять вкраплення мінералу магнетиту. Ці вкраплення зберігають пам'ять про наявність магнітного поля в момент утворення. Це своєрідний магнітний носій. Тому, взявши зразки в Західній Австралії в районі Джек-хіллс, де присутні прадавні породи, дослідники змогли датувати появу магнітного поля.

На подальше перетворення вигляду Землі вплинула поява на ній найзагадковішого явища — Життя.

1.4. День народження Життя

Життя — одне з явищ природи, зацікавленість до якого тільки зростає. Пошук законів його появи, розвитку і властивостей захоплювали й захоплюють уми видатних учених.

Не можна сказати, що ми зрозуміли все, але точно суттєво просунулись у розумінні життя. Особливо, якщо порівняти сучасні уявлення з картиною створення життя з Біблії. Створення світу за 6 днів! Пропускаючи опис перших двох днів, витрачених на створення землі, світла й води, перейдемо до третього дня появи життя: були створені «рослини з їхнім насінням і різні види дерев на землі, які приносять плід з насінням усередині». На п'ятий день «нехай наповниться вода живністю, і нехай полетять над землею по небосхилу птахи», і Бог створив «величезних морських чудовиськ, різні види живності, що рухається, кишить у воді, і різні види крилатих птахів». На шостий день Бог створив «худобу, плазунів і диких звірів» і людину. На сьомий день настає час відпочинку. Такого сорту «пояснення» становлять основу креаціонізму. Це концепція, згідно з якою основні форми органічного світу безпосередньо створені Творцем, або Богом.

Уже Арістотелю (384–322 рр. до н. е.) подібний сценарій видався малоправдоподібним. Він був прихильником теорії спонтанного зародження життя. Гіпотеза полягала в тому, що існують деякі частинки речовини, що містять «активне начало», от вони і можуть створити живий організм за сприятливих умов. З появою християнства, незважаючи на канонізацію Арістотеля, теорія спонтанного зародження життя не підтримувалась і навіть навпаки — заборонялась.

Існує ще концепція панспермії, яка припускає, що життя занесене на Землю з космосу. Ця гіпотеза мало що пояснює і точно не походження Життя. Адже тоді постає питання: звідки взялося Життя в космосі?

Może to wszystko
dzieje się w laboratorium?
Pod jedną lampą w dzień
i miliardami w nocy?

Może jesteśmy pokolenia próbne?
Przesypywani z naczynia w naczynie,
potrzęsani w retortach,
obserwowani czymś więcej niż okiem,
każdy z osobna
brany na koniec w szczypczyki?

Wisława Szymborska z «Pociecha»

Може, це все відбувається в лабораторії?
Під однією лампою вдень
і міріадами вночі?

Може, ми — піддослідні
покоління?
Нас переливають з пробірки в пробірку,
Перетрушують
у ретортах,
Спостерігають чимось більшим за око,
а в кінці
кожного окремо
підбирають пінцетом?

Віслава Шимборська. Переклад Ганни Яновської

Зрозуміло, ми пішли далеко від цих «версій», однак ми, як і раніше, ще на початку шляху. І це прекрасно! В одному можна бути впевненим, що в цьому питанні немає нічого, що не може бути усвідомлене в рамках Фізики.

Коли ми говоримо про виникнення Життя, то найважче зрозуміти, про що ми говоримо. Так, коли говорять про проблему виникнення Життя, часто, але не завжди, мають на увазі,

як саме з неорганічних речовин виникли органічні молекули. Наступне питання: як у цих органічних молекул виникла здатність до реплікації? І нарешті, як виникли найпростіші живі «істоти»?

На перше питання відповісти досить просто. Органічні речовини утворювалися з неорганічних на найпершому етапі в передбіологічний період. Такі речовини як ліпіди, амінокислоти, нуклеотиди мають надлишкову вільну енергію і тому їхні концентрації в рівноважних термодинамічних умовах вкрай малі. Однак вони синтезуються практично в будь-яких нерівноважних умовах. Почалось їхнє створення ще до виникнення Землі. Так, після появи Сонця порошинки газопилової хмари, що залишилися, потрапили під вплив випромінювання Сонця. У цих нерівноважних умовах можливий синтез органічних сполук. Якщо це так, то органіка має бути присутньою і в метеоритах. Аналіз складу вуглистих хондритів дійсно виявив у них вуглеводи, пурини, піримідини, амінокислоти. Це важливі органічні речовини, що становлять основу життя. Зрозуміло, синтез таких органічних сполук продовжився і на Землі. Своєрідними ефективними «фабриками» з їхнього виробництва були вулкани, грози, точніше розряди блискавок, які сприяли синтезу органіки, як і вплив ультрафіолетових і космічних променів. Можливість синтезу в таких умовах підтверджена експериментально багатьма вченими. Одним з них був Стенлі Міллер, який у скляній посудині, що містила газу праатмосфери, за допомогою котушки Тесла створював електричні розряди, що імітували блискавки. Після двох днів роботи цієї установки стінки посудини вкрилися жовтуватим нальотом, а вода, що імітувала океан, стала коричневою. Через шість днів дослід зупинили, провели аналіз складу речовин, що утворювалися. Яким же був подив Міллера і його керівника Гарольда Клейтона Юрі¹, коли

¹Лауреат Нобелівської премії з хімії 1934 року за відкриття дейтерію.

в посудині були виявлені амінокислоти — основні структурні елементи білків! Свої результати він успішно доповів у 1953 р. на семінарі в Чикаго, на якому були присутні такі вчені, як Енріко Фермі¹ і троє майбутніх лауреатів Нобелівської премії. Саме Фермі наприкінці доповіді поставив запитання: «Чи не саме так виникло життя на планеті, чи це був один з можливих шляхів її виникнення?» За Міллера відповів його керівник Юрі: «Якщо Бог зробив це інакше, виходить, він зробив неправильний вибір». Пізніше Міллер удосконалив установку, імітуючи вулканічну діяльність, і одержав аналогічний результат.

Важчим для пояснення був етап створення більш складних молекул, здатних до реплікації або до створення своїх копій. Труднощі полягають у тому, що однорідний розподіл таких органічних речовин невеликої концентрації робить синтез складних молекул малоймовірним. Ця проблема була усвідомлена досить давно. Першим звернув увагу на можливість створення скупчень молекул Олександр Опарін у 1924 році, назвавши їх коацерватами. Він показав, що органічні молекули можуть спонтанно концентруватися у своєрідні краплі — коацервати. Такий процес можна пояснити в рамках фізичної хімії. Трохи пізніше інші вчені спостерігали аналогічні структури. Так, Сідней Фокс 1959 року виявив, що якщо помістити прості білки в гарячу воду, то вони спонтанно утворюють мікросфери. Вони були схожі на живі організми, мали оболонку, крізь яку могли вибірково проникати деякі біологічні молекули. Крім цього, в мікросферах за певних умов утворюються поліпептиди з випадковою послідовністю амінокислот. Пізніше Фудзіо Егамі виявив, що такі мікросфери утворюються в морській піні. І як

¹Лауреат Нобелівської премії з фізики 1938 року «за доказ існування нових радіоактивних елементів, отриманих при опроміненні нейтронами, і пов'язане із цим відкриття ядерних реакцій, що викликаються повільними нейтронами», один з «батьків» атомної бомби.



Рис. 1.15. Фрагмент картини Сандро Боттічеллі «Народження Венери».

тут не згадати знамениту картину «Народження Венери» (див. Рис.1.15) італійського художника Сандро Боттічеллі, на якій зображена Венера (у грецькій міфології Афродіта Анадіомена), народжена з морської піни!

Таким чином, у мікросферах, коацерватах, виникали умови для утворення органічних полімерів. При досить високій концентрації нуклеотидів в розчинах можуть утворюватися як випадкові одиночні ланцюжки полінуклеотидів, так і більш стійкі полімери здвоєних ланцюжків типу ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота — макромолекула, що забезпечує зберігання інформації і передачу її з покоління в покоління). Оскільки структура таких полімерів випадкова, то з'явилася можливість перебору величезного числа варіантів. Такі полімерні молекули і створюють основу для виникнення молекул, здатних до реплікації.

Уже з цього можна побачити дві можливості для виникнення життя. Перша заснована на одноланцюжкових молекулах РНК — рибонуклеїнова кислота, друга — на використанні

дволанцюжкових молекул ДНК. Молекула РНК відіграє важливу роль у кодуванні, зчитуванні, реалізації інформації. Власне, два такі сценарії і були запропоновані.

Якщо відштовхуватися від головної функції таких молекул — зберігання інформації, то багато чого можна зрозуміти. Насамперед довгострокове зберігання інформації можливе тільки за рахунок її реплікації. Дійсно, який би носій інформації ми не використовували, він має кінцевий час життя. Тому єдиний спосіб продовжити час зберігання інформації — це створення безлічі копій інформації. Із цього погляду ДНК більш прогресивна молекула. Крім зберігання інформації, вона забезпечує простий спосіб її реплікації.

Не вдаючись у хімічні й фізичні деталі, копіювання ДНК можна представити в такий спосіб. Кожен ланцюжок у ДНК зберігає одну й ту саму інформацію. Це зручно для виправлення помилок і збільшує надійність зберігання. Зв'язок між цими ланцюжками слабкий. Тому молекулу можна легко розділити на два ланцюжки, наприклад, нагріваючи. Якщо ці два ланцюжки помістити в бульйон нуклеотидів, то кожен окремий ланцюжок, використовуючи свою інформацію, приєднає до себе потрібні нуклеотиди, добудувавши до себе другий ланцюжок. Так з однієї ДНК виникне дві копії саме цієї ДНК.

Однак легко зрозуміти, що зберігання інформації і функція її реалізації важко сумісні в одному «пристрої». Тому виконання інформаційних інструкцій краще надати іншому «пристрою». У сучасних клітинах таку функцію виконує РНК. Спочатку спеціальні ферменти переписують інформацію ДНК на РНК, а потім уже матрична РНК за допомогою рибосом виконує синтез потрібного білка.

Як ми вже згадували, Життя з'явилося досить швидко після утворення Землі, приблизно 4 млрд років тому. Точне датування цієї події наразі неможливе. Крім цього, воно могло зароджуватися й багаторазово протягом 0.5 млрд років. Життя —

продукт, що швидко псується, і виявлення прадавніх первинних форм життя — винятково складна проблема.

Далі обмежимося ескізом виникнення життя.

Початок будемо відраховувати від виникнення органічної молекули, здатної до реплікації¹. Це ще не повноцінне життя, але його джерело. Починаючи з цього моменту, до таких об'єктів можна застосовувати еволюційну теорію Дарвіна.

Darwin.

Podobno dla wytchnienia czytywał powieści.

Ale miał wymagania:

nie mogły kończyć się smutno.

Jeśli trafiał na taką,

z furją ciskał ją w ogień.

Prawda, nieprawda —

ja chętnie w to wierzę.

Wisława Szymborska z «Pociecha»

Дарвін.

Кажуть, він читав романи,

щоб розвіятися.

Але мав певні вимоги:

терпіти не міг печальних

кінцівок.

Якщо в книжці така

траплялася —

Він у гніві жбурляв її в піч.

Правда, неправда —

а я вірю охоче.

Віслава Шимборська. Переклад Ганни Яновської

¹Від латинського replicatio — поновлення, повторення.

Ця велика теорія може бути застосована до опису еволюції Життя в будь-яких куточках Всесвіту. Основою теорії є три постулати: спадковість, мінливість і природний добір. Перебуваючи в «поживному» середовищі, ці молекули виконують свою єдину функцію, створюючи свої копії. Звісно, реплікація не є абсолютно точним процесом, і виникнення помилок у ньому призводить до мінливості цих молекул. Однак запас «поживних» речовин, необхідних для реплікації, обмежений — і серед молекул, що реплікуються, має виникнути конкуренція за ресурси. Під цим слід розуміти, що деякі репліканти встигають переробити більше поживних речовин і створити, відповідно, більше саме своїх копій. Мінливість молекул дозволяє випробувати різні варіанти реплікантів, і переможе найбільш успішний варіант.

Життя — продукт, що швидко псується.

Природно припустити, що однією з властивостей, які сприяють збереженню принаймні своїх ресурсів, може бути захисна оболонка. Це приведе до виникнення організмів, захищених такою оболонкою. В принципі, враховуючи, що навіть на перших етапах виникнення реплікантів могли брати участь мікросфери, коацервати, які мали оболонки, схожі на клітинні, то придбання захисних оболонок не виглядає фантастичним проєктом.

Інший шлях — це хижацтво або виникнення хижаків серед праорганізмів. Хижаки виробили здатність відбирати ресурси у інших праорганізмів. Цей шлях, безумовно, вплине і на організми з оболонкою. Вони почнуть випробовувати різноманітні варіанти захисту від хижаків. Один із шляхів захисту від хижаків — багатоклітинність. Це дуже перспективний і складний шлях, що вимагає особливих механізмів кооперації клітин і виникнення «розподілу праці». Виникнення багатоклітинних організмів дозволяє їм протистояти хижакам доти, поки хижаки

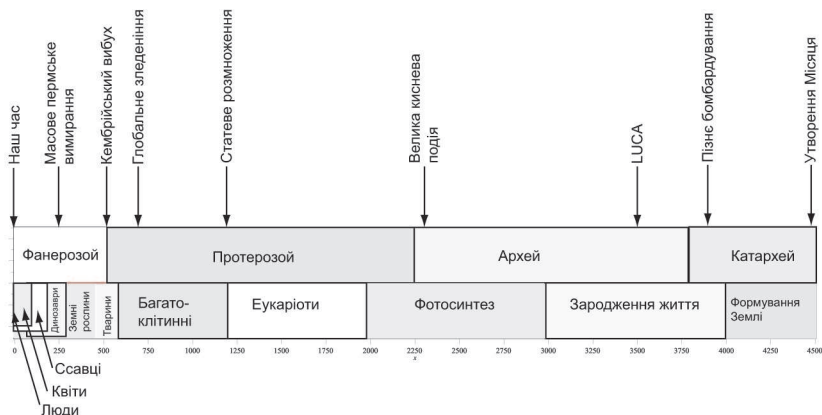


Рис. 1.16. «Календар» еволюції в млн років.

самі не стануть багатоклітинними і знайдуть спосіб продовжити своє існування, реалізуючи на практиці гасло еволюції — знайти або зникнути! До речі деякі і зникли. Досить згадати сучасного вилорога. Це американська антилопа, яка здатна бігати зі швидкістю 90 км/год. Всі її існуючі вороги не здатні розвинути таку швидкість. Так, вовки і койоти ледь досягають швидкості 56 км/год. Навіщо їй така величезна перевага у швидкості? Насправді відповідь полягає в тому, що їхня еволюція проходила під впливом значно швидших хижаків. Таких як вовка жакливого — *Canis dirus*, смілодона — *Smilodon fatalis* і, можливо, інших, які не витримали «гонки озброєнь» і зникли.

Таким чином, у цей період відбувається процес ускладнення як реплікантів, так і організмів, створених ними. Важливими компонентами, що можуть надати переваги багатоклітинним організмам, є створення органів пересування, удосконалення органів харчування і розвиток органів чуття. Усі ці напрямки і були задіяні Еволюцією. Ускладнення організмів такими складними руховими, інформаційними системами вимагає виникнення додаткових органів керування ними, в протилежному

випадку вони будуть неефективні. Це повинно привести до виникнення «інтелекту» як центрального органу керування або його замітника, так званого ройового інтелекту. Таким чином, удосконалені репліканти створюють складні «пристрої», які мають здатність до самостійної поведінки, щоб забезпечити збереження реплікантів вічно або, точніше, на проміжках часу, порівнянних з еволюцією нашого Світу.

Важливий результат еволюції полягає в тому, що взаємини «хижак — жертва» виявляються досить стимулюючими для розвитку й удосконалювання обох складових. Тому вислів Фрідріха Ніцше: «Усе, що нас не вбиває, робить нас сильнішими» — відносно великих колективів жертв і хижаків звучить навіть ще гірше: усе, що вбиває індивідуума, робить колектив сильнішим. Більш точно це означає, що майбутні покоління такого колективу в процесі еволюції стають більш пристосованими до боротьби з відповідним супротивником. Математичні моделі відносин «хижак — жертва» дуже добре досліджені. Далі ми не будемо заглиблюватись у визначні результати, які отримано в межах цієї моделі.

Тут доречно торкнутися ще одного раннього, але глобального винаходу еволюції — смерті. На ранніх етапах еволюції живі організми були приречені на конкуренцію і гинули під тиском зовнішніх обставин. Їх з'їдали, знищували, вогнем, холодом та іншими змінами зовнішніх умов. Приблизно 3 млрд років тому еволюція винайшла складний механізм клітинної смерті. Як це відбулося, достеменно невідомо. Одна з природних гіпотез припускає, що до цього привела взаємодія з вірусами. Віруси, вражаючи бактерії, називаються бактеріофагами. Війна, що не припиняється, між бактеріями і бактеріофагами є можливо найголовнішим фактором еволюції. Її можна розглядати як відносини «хижак — жертва». Виявилося, що сучасніші бактерії можуть самоліквідуватися, і по даних, отриманих Полом Фалковскі та Кеєм Бідлом з Рутгерського університету (штат

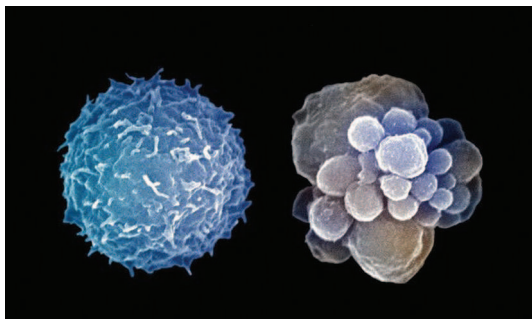


Рис. 1.17. Знімок самоліквідації, або апоптозу, людського лейкоцита. Зображення отримано за допомогою скануючого електронного мікроскопа. Зліва жива клітина, праворуч — та, що самоліквідувалася.

Нью-Джерсі), цією здатністю бактерії володіють уже 3 млрд років.

Смерть, що приносить користь, — винахід еволюції, без неї сумнівне існування самої еволюції.

Виникнення та тривале збереження функції смерті еволюцією означає, що смерть приносить користь. Але яку? Для того щоб зрозуміти це, припустимо, що середовище, в якому перебуває колонія бактерій, різко змінюється і стає несприятливим. Тоді й запускається процес загибелі клітин. Найздоровіші або сильні клітини переживають неприємність, а ослаблені кволі клітини вмикають програму загибелі. При цьому звернемо увагу, що всі клітини генетично ідентичні. Таким чином, позбуваючись ослаблених клітин на більших проміжках часу, досягається більша надійність у збереженні генома колонії. У цьому

можна побачити певну форму поділу генетично ідентичних клітин. Такий механізм виявляється дуже корисним для еволюції.

Зрозуміло, без смерті взагалі сумнівне існування еволюції. Як без смерті здійснити природний добір? Для багатоклітинних організмів він отримує ще більшу важливість. До речі, багатоклітинність виникла незалежно в різних еукаріотів. Нам відомо про виникнення її в предків зелених і червоних водоростей, у рослин, у тварин і в грибів. Для багатоклітинних організмів найголовніше — збереження кооперації між різними клітинами організму. Це просто необхідно для його існування. Досить згадати про таке захворювання як рак, при якому ракові клітини набувають незалежності. Тому необхідний механізм покарання за відмову виконувати певну функцію на користь багатоклітинного організму. Ось тому в багатоклітинних організмах за це передбачено єдине покарання — «смертна кара». Звідки всі еукаріоти одержали апарат смерті? Виявляється, його передали в готовому вигляді предки мітохондрій як безкоштовний додаток до енергетичних можливостей. Докладніше про еукаріоти і мітохондрії ми поговоримо пізніше.

Слід зазначити, що між смертю клітини і смертю організму існує величезна різниця. Еволюція зовсім не вимагає знищення всіх клітин організму для старіння і його смерті. Відомі тварини, наприклад, звичайна прісноводна гідра, у якої деякі клітини вмирають і замінюються новими клітинами. При цьому у гідри не спостерігається ніяких ознак старіння. Можна сказати, що вона безсмертна! Інакше кажучи, у таких істот строго дотримується баланс між смертю клітин і відновленням їх. Тоді чому ми старіємо і помираємо?

Будь весел, не марнуй свого життя у горі.
Бо в небі довго ще зіходитимуть зорі!
Ти прахом зробишся, і піде прах на цеглу,
І муром станеш ти в сусідовій коморі.

Омар Хайям. Переклад Василя Мусика

Виникає питання: навіщо еволюції таке явище і в чому його користь? Відповідь запропонував у 1953 році Пітер Брайан Медавар. Звернемося до його доводів. Насамперед, навіть безсмертні організми гинуть. Їх можуть з'їсти або знищити безліччю різних способів. Це означає, що існує ймовірність знищення навіть безсмертних. Тому організми, що інтенсивно розмножуються на ранньому періоді існування, одержують перевагу. Вони залишають більш численне потомство, ніж ті, хто розраховує на довгий період повільного розмноження. Швидше за все, вони будуть знищені за значно менший період, ніж вони сподіваються.

Така концепція виглядає переконливою, але є проблема. Так, якщо продовжити міркування, то можна зрозуміти, що кожному організму відповідає свій середньостатистичний час життя. Цей час визначається безліччю різних характеристик цього організму. Тоді ті організми, які інтенсивно розмножуються за цей період, одержують перевагу, залишаючи численне потомство. Однак при цьому в геномі всього колективу індивідуумів повинні накопичуватися гени, що викликають різні захворювання після середньостатистичного часу настання смерті.

Старіння можна уникнути, як і всіх вікових хвороб!

Так наприклад, природний добір не може вилучити ген, що викликає смертельну хворобу серця у віці 200 років. Ніхто просто не доживе до такого віку. Таким чином, старість — це прояв роботи тисячі «шкідливих» генів, накопичених попередніми поколіннями, які беруться за справу після середньостатистичного часу смерті. Ми самі, продовжуючи життя, ступаємо на мінне поле цих генів. Ці міркування пояснюють розвиток захворювань при старінні, але не механізм або причину старіння.

У 1988 році Девід Фрідман і Том Джонсон з Каліфорнійського університету виявили мутацію певного гена, що призводить до збільшення вдвічі тривалості життя в черв'ячка нематоди. Це було грандіозне відкриття. Досить швидко були виявлені подібні мутації інших організмів — від дріжджів до дрозофіл і мишей. Найцікавіше, що збільшення тривалості життя більш ніж удвічі відбувалося за рахунок збільшення саме активного та здорового періоду життя. В результаті був виявлений механізм, керуючий тривалістю життя грибів і ссавців. Висновок із цього приголомшує. Старіння можна уникнути, як і всіх хвороб, пов'язаних з віком! Пошуки в цьому напрямку принесли безліч досягнень, у які ми не можемо заглиблюватися. Їхнє обговорення потребувало б написання ще однієї книги. Важливо, що існує принципова можливість жити набагато довше і бути здоровим. Цього можна досягти тільки при розвитку Науки.

Виникнення реплікантів — це найбільш важко визначена подія через різноманіття можливих варіантів. Існує безліч теорій для цього етапу. Можливо, з цієї причини на зародження життя на Землі треба було не так багато часу, менше 0.5 млрд років. Основні етапи еволюції наведені на Рис.1.16.

Усі клітинні істоти на Землі — родичі.

Як зазначалося вище, життя могло зароджуватися на нашій планеті неодноразово. Тому пошук інших форм життя на нашій планеті цілком обґрунтований. Основна проблема полягає в тому, що наша форма життя повинна знищувати інші форми життя. Отже, альтернативні форми життя можуть зберегтися в місцях, де зовнішні умови перешкоджають існуванню нашої форми життя. Наприклад, це могли бути гарячі джерела тощо. Усі виявлені до теперішнього часу форми життя наші родичі.

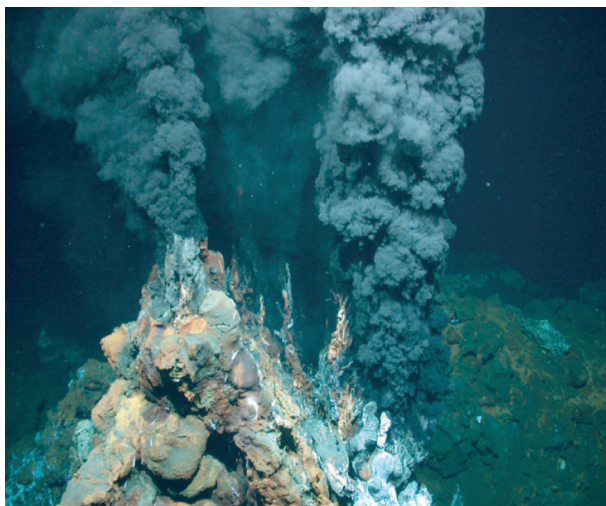


Рис. 1.18. «Чорний курець», оточений сучасними організмами, що зберегли прадавній спосіб життя.

Це означає, що всі ми виникли від спільного предка. Під «ми» маємо на увазі усі клітинні живі істоти на Землі. Відновлення вигляду нашого предка — складна проблема. Його назвали LUCA (Last Common Universal Ancestor). Про природу LUCA точно мало що встановлено, тут ми ступаємо на поле, засіяне безліччю теорій. Достовірно невідомо, у якому середовищі він жив, як був влаштований, нащадки могли загубити його унікальні якості або розчинити їх у процесі відбору.

Величезна заслуга у відтворенні портрета LUCA належить видатному вченому Карлу Річарду Везе (Carl Richard Woese 1928–2012). До цього часу вже стала широко відомою наявність генетичного коду, і вчені, включаючи Френсіса Кріка, кинулися до його розшифрування. Везе зрозумів, що генетичний код виник у процесі еволюції, отже, його можна використовувати як своєрідну машину часу та повернутися на безліч поколінь назад

до найпрадавніших організмів. Десятиліття працюючи в цьому напрямку, Везе змінив самі засади біології — древо еволюції. Саме він виявив нову групу організмів, які назвав археями¹. Все, що становило древо Дарвіна в результаті його роботи, виявилось всього лише однією гілкою на дереві Везе. Треба зазначити, що це революційне відкриття викликало безліч нападок на автора. Це посилювалося ще й завдяки способу його життя, як чудакуватого самотника. Достатньо сказати, що його навіть не запросили на першу наукову конференцію, присвячену його теорії. Однак уже в 1992 році він досяг визнання і одержав найвищу нагороду в мікробіології — медаль Левенгука. Ця медаль вручається раз на десять років Королівською академією наук і мистецтв Нідерландів.

Виходячи з наших уявлень про водний світ, можна припустити існування LUCA в глибинах океану поблизу гідротермальних джерел. Тут життя було захищено від багатьох зовнішніх впливів, включаючи метеоритні бомбардування. Сучасні дослідження підтверджують таку гіпотезу. Досліджуючи генний матеріал бактерій і архей, вдалося встановити загальні властивості останнього спільного пращура живих організмів. Його життя та життєдіяльність винятково цікаві. Вільям Мартін і його колеги вважають, що LUCA був строго анаеробним (він не використовував кисень). Замість цього він міг використовувати водень, що був присутній у навколишньому активному зовнішньому середовищі. Цікава відсутність у LUCA і генів для синтезу амінокислот. Це швидше за все означає, що пращур одержував їх ззовні. У навколишньому середовищі йшли активні хімічні реакції. Інакше кажучи, LUCA був тільки частково «живим»

¹Це відносно недавно виділений, новий домен живих організмів, що не мають ядра і мембранних органел. Він має свою еволюційну історію, відмінну від історії бактерій. Назва походить від грецького *αρχαίος* — прадавній, первозданий, старий. Раніше археї і бактерії поєднувалися в один домен прокаріотів.

і залежав від процесів у навколишньому середовищі. У сучасному світі можна знайти організми, які багато в чому зберегли його прадавній спосіб життя і метаболізм (див. Рис.1.18).

Зрозуміло, LUCA не був першим живим організмом, просто наш лукавий предок передав свої гени всім наступним організмам — бактеріям і археям.

Тепер повернемося до Рис.1.16 і обговоримо революційні етапи еволюції більш детально. Насамперед, перші живі істоти на Землі влаштовані були досить просто. Вони належали до двох доменів бактерій і архей, які належали до прокаріотів. Довгий час (близько 1 млрд років) ці організми еволюціонували, удосконалюючи свої «хімічні фабрики». При цьому зовні ці організми практично не змінювались. Прокаріоти влаштовані відносно просто (див.Рис.1.19). Від зовнішнього світу їх відокремлює оболонка або клітинна мембрана. У прокаріотів мембрана влаштована дуже просто — відсутні мембранні органели. Всередині оболонка заповнена цитоплазмою, у якій плаває ДНК у згорнутому стані. Це і є генетичний матеріал прокаріотів. Дихання і харчування здійснюється транспортом через оболонку клітини розчинених у середовищі речовин. Уже виходячи із цього, можна зрозуміти обмеженість можливостей прокаріотів для вдосконалення. Дійсно, енергія, що надходить у такий організм, пропорційна його поверхні. Якщо прокаріот захоче вирости і збільшити свій об'єм, він зіштовхнеться з енергетичним голодом. Справа в тому, що збільшення об'єму відбувається швидше, ніж поверхні. Отже, потреба енергії росте пропорційно об'єму ($\sim R^3$, де R — характерний радіус прокаріота), а її джерело — пропорційно поверхні ($\sim R^2$). Ясно, що для існування прокаріота джерело енергії αR^2 має перевищувати енергетичні потреби βR^3 , і отже, буде виконуватися нерівність $\alpha R^2 \geq \beta R^3$,

звідки випливає фундаментальне обмеження на розмір прокаріота

$$R \leq \frac{\alpha}{\beta}$$

Коефіцієнти α і β визначають ефективність транспорту і використання відповідних речовин. Істотна зміна їх обмежена фізичними законами. Стає зрозумілим, що прокаріоти приречені залишатися маленькими. Можливо, з цієї причини вони залишаються приблизно такого розміру протягом 4 млрд років еволюції. Зрозуміло, це не значить, що вони не удосконалювалися в процесі еволюції. Так, саме прокаріоти відкрили найважливіше джерело енергії і навчилися його використовувати. На це еволюції потрібен був приблизно 1 млрд років. Прокаріоти відкрили хімічне перетворення енергії світла на енергію хімічних зв'язків органічних речовин — фотосинтез. У цьому процесі беруть участь певні пігменти. Бактерії використовують бактеріохлорофіл, а археї — бактеріородопсин¹.

Приблизно стільки ж часу необхідно було і для створення багатоклітинних організмів. Це безумовно був революційний крок еволюції і, мабуть, неминучий. Багатоклітинні організми виникали, багаторазово відгалужувались від різних еволюційних гілок. З цілком зрозумілих причин багатоклітинність більш прийнятна для еукаріотів. Зараз відомі два типи гіпотез походження багатоклітинних. Перший — колоніальний тип, який пояснює виникнення багатоклітинних організмів з колоній одноклітинних організмів. Інший тип гіпотез полягає у допущенні, що предками багатоклітинних були багатоядерні найпростіші організми. Одна з причин цього пов'язана з виникненням хижаків серед одноклітинних організмів. Певним доказом на користь цього висновку можуть бути експерименти Мартіна Борааса і його колег. Вони взяли одноклітинну водорість і помістили в поживне середовище. Протягом тисяч поколінь у колонії

¹Рослини для фотосинтезу використовують хлорофіл.

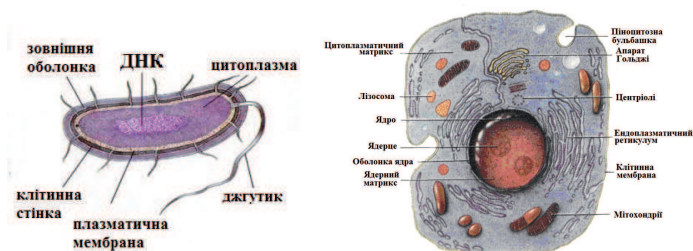


Рис. 1.19. Спрощена схема: ліворуч клітини прокаріотів, а праворуч — еукаріотної клітини. Легко помітити величезну різницю в їхній структурній складності.

не відбувалося ніяких цікавих подій. Тоді в цю колонію вони додали хижака. Таким був обраний одноклітинний жгутиконосець, який міг заковтувати і поїдати одноклітинні водорості. Наступні події винятково цікаві. Після вже 200 поколінь у такій колонії одноклітинні водорості почали утворювати клубки, що складались із сотень клітин. У наступних поколіннях відбулася оптимізація клубка, і вони стали утворюватися з 8 водоростей. З одного боку, цієї кількості виявилось досить для захисту, а з іншого, доступ до світла або енергії був не сильно заблокований. Таким чином у колонії виник новий багатоклітинний організм. Зрозуміло, це ще не справжня багатоклітинність, але це був перший крок до неї. Їхній наступний дослід привів до цікавого результату. Після виникнення таких оптимальних 8-клітинних організмів вчені вилучили всіх хижаків з колонії. Подальше розмноження водоростей проходило зі збереженням 8-клітинних клубків.

Багатоклітинність на початкових етапах, незважаючи на очевидні переваги, не досягла великих успіхів. Причина цього у величезних енергетичних витратах на утримання багатоклітинного тіла. Для подолання проблеми мали виникнути сприятливі умови, для цього світ повинен був змінитися.

Однак існує ще один спосіб використання ідеї багатоклітинності. На реалізацію його знадобилося ще 1 млрд років. Можна утворювати багатоклітинний організм, не поєднуючи клітини, а шляхом захоплення організму і переміщення його всередину клітини. Ясно, що цей досить складний спосіб вимагає величезної кількості спроб. Таке об'єднання функціонуючих організмів суперечливе. Дійсно, уявімо, що трактор поглинув автомобіль і продовжив функціонувати як і раніше, так само, як і автомобіль усередині нього. Більш того, він став функціонувати навіть краще. Це виглядає божевільним через складність цих об'єктів. Проте еволюції вдалося реалізувати і такий спосіб. Ця знаменна подія полягала в тому, що клітина археї поглинула бактерію і вступила з нею в симбіоз. Подальша еволюція привела до вдосконалення і виникнення еукаріотів¹. Усіх!!!

Зрозуміло, в результаті еволюції внутрішня бактерія втратила безліч непотрібних після поглинання властивостей і перетворилася на мітохондрію². Це внутрішня енергетична станція клітини господаря. Таким чином, створення внутрішніх джерел енергії зняло обмеження на розмір клітини та дало величезні можливості вдосконалення. Зняття енергетичного обмеження також дозволяє успішно реалізувати і багатоклітинність. До того ж у цей час виникли і відповідні зовнішні умови. Для багатоклітинності потрібна велика кількість кисню, а саме концентрація кисню в первинній атмосфері була низькою. Однак до цього часу відбулася велика киснева подія (див. Рис.1.16), і концентрація кисню зросла, що сприяло виникненню еукаріотних багатоклітинних організмів. Не важко здогадатися, що в той час єдиним джерелом кисню були бактерії та археї. Спочатку кисень, який вони виробляли, витрачався на окислення мінералів

¹Еукаріоти — домен живих організмів, клітини яких містять ядро.

Назва походить від грецького *eu* — добре і *karvov* — ядро.

²Двомембранний органіод діаметром близько 1 мікрометра — енергетична станція клітини.



Рис. 1.20. Динозавр — могутня тварина, що перевершує людину могутністю на порядки.

та атмосферних газів. Після їхнього окислення кисень почав накопичуватись в атмосфері. Паралельно цьому сформувався озоновий шар і змінилась хімічна активність атмосфери. В підсумку суттєво зменшився парниковий ефект, зменшилась відповідно і температура і почалось зледеніння. Зрозуміло, що збільшення кисню в атмосфері вело до його поглинання й океанами. Спочатку розчинений у воді кисень поглинався закисним залізом, а потім зі зменшенням заліза в океані він став накопичуватись у воді. Почалася глибинна оксигенація океанів. Виникнення фотосинтезуючих організмів в океані пришвидшило збільшення кисню в атмосфері та гідросфері Землі. На фоні цих подій кисневе дихання стало енергетично більш вигідним. Тепер першість перешла до аеробних організмів, а анаеробні були витіснені в окремі області їхнього сучасного існування.

Наступне відкриття еволюції, яке приголомшило світ, — це розподіл статей. Роль цього для мінливості генів очевидна. Нащадок отримує половину генного матеріалу від матері, а другу

половину — від батька. Це автоматично суттєво змінює нащадка, наділяючи його новими можливостями. Саме це відкриття, на яке було витрачено приблизно 3 млрд років, привело до «Кембрійського вибуху». Під цим розуміють раптове збільшення біорізноманіття і різке збільшення кількості викопних решток у відкладеннях скам'янілостей початку кембрійського періоду. Виникла величезна кількість форм і типів живих істот.

«Фабрика» Дарвіна запрацювала повним ходом. Цьому сприяла і найважливіша зміна зовнішніх умов, що передують «Кембрійському вибуху», яка полягала в насиченні води океанів киснем — оксигенація океанів.

Казанок Життя закипів — варися, життя, варися.

1.5. День народження Людини

Роздуми на тему появи Людини ще з часів Дарвіна викликали бурю емоцій. Причина здебільшого була пов'язана з патологічним дистанціюванням людей від тварин. Особливе обурення суспільства викликало походження від мавп. Тут доречно процитувати Чарльза Дарвіна, який писав у своїй книзі «Походження людини і статевий відбір»: «Оскільки людина, з генетичної точки зору, належить до вузьконосих мавп Старого Світу, то ми повинні зробити висновок, скільки б не протестувала наша гордість проти такого висновку, що наші давні родоначальники мають бути віднесені до цього сімейства. Ми не повинні, однак, впасти в іншу помилку, припускаючи, що древній родоначальник всього мавп'ячого роду, не виключаючи і людини, був тотожний або навіть близько схожий на будь-яку з нині існуючих мавп». До речі, слід зауважити, що Чарльз Дарвін не був першим, хто пов'язував походження людини з мавпами. Французький біолог, математик і письменник Жорж Луї Бюффон висловив цю думку ще до нього.

Із цією гіпотезою пов'язано багато карикатур і анекдотів. Досить часто цитується фраза, що дійшла до нас від часів розуміння цього «сумного факту». Стривожена дружина єпископа N: «Походимо від мавп! Дорогий мій, будемо сподіватися, що це неправда, але якщо це все-таки правда, помолимося, щоб це не одержало широкого розголосу». Насправді ми не тільки походимо від мавп, але, з точки зору класифікації тварин, ми ними і залишилися.

Зрозуміло, тих прамавп уже немає — одні еволюціонували в людей, інші зникли, утворюючи тупикові гілки. Деякі мавпи теж еволюціонували, але пішли іншим шляхом. Наприклад, вважається, що предки шимпанзе відділилися від загального з нами предка приблизно 6–7 млн років тому. Увесь цей час вони еволюціонували в шимпанзе.

Насправді можна вважати нашими предками всіх, хто жив на більш ранній гілці дерева еволюції, з якої можна дійти до нашої гілки, рухаючись у часі. Однак, за традицією, обмежимося найтоншою гілкою дерева еволюції — гілкою Номо (від латинського — люди). Це рід сімейства гомінідів загону приматів, до якого належать і сучасні люди.

Якщо повернутися до календаря еволюції, то подія, яка нас цікавить на цій шкалі, відзначена товщиною лівої вертикальної лінії (див. Рис.1.16). Тільки штрих, нічого більше. Наша історія коротка — мить на шкалі еволюції.

Жизнь состоит из маленьких мгновений,
Простых и восхитительных явлений,
Из множества случайных совпадений
На перекрестках наших дней и трасс.
Жизнь состоит из редких компонентов,
Из крохотных частичек и фрагментов,
Неповторимых, сказочных моментов,
Из тысячей простых и вещей фраз.

Афанасий Фет

Життя складається із митей швидкоплинних,
Простих і милих серцю явищ дивних,
Зі збігів випадково неймовірних
На перехрестях наших днів і трас.
Життя із неповторних компонентів,
Із крихітних частинок і фрагментів,
Казкових, гідних захвату моментів,
Із тисяч і простих, і віщих фраз.

Афанасій Фет. Переклад Ганни Яновської

Чи є гарантії того, що вона буде тривалою? Це винятково важливе для нас питання. Звернімо увагу на значний період існування динозаврів (див. Рис.1.16) — цих значно могутніших

і сильних істот, ніж ми. Якщо вважати, що наш вид *Homo sapiens* з'явився 400–250 тисяч років тому, то період життя на Землі динозаврів більш ніж у 400 разів перевершує час існування людства. Але все-таки період існування динозаврів скінчений!

Зрозуміло, точної дати народження Людини просто не існує. Цей процес був розтягнутий у часі і в просторі. Крім цього, це залежить від того, кого вважати людиною. У якості природної межі, що ділить гомінід¹ на мавп і людей, можна вибрати певний об'єм мозку. До людини можна віднести гомінідів з об'ємом мозку понад 600 см³. Так, наприклад, *Homo habilis*² мав об'єм мозку 650–680 см³.

Наша історія коротка — мить на шкалі еволюції.

Історія виникнення Людини, втім як і будь-якого іншого виду тварин, повна безліччю перипетій, які важко довести. Для нас історія виникнення Людини становить особливий інтерес. Можливо, в ній ховаються відповіді навіть на деякі питання нашого сучасного існування. Вона безумовно складна та заплутана. Підстави, на яких вона може бути побудована, у буквальному значенні зариті в землю. Джерел, які можна використовувати для відновлення нашої історії, в основному, два. Це палеонтологія і генетичний аналіз. Зрозуміло, при цьому використовуються всі досягнення фізики і біології. Строго кажучи, жоден детектив не може зрівнятися за складністю зі знаходженням навіть простих фактів нашої історії. Уявіть, що ви ведете розслідування злочину, що відбувся тисячу років тому, у вас немає не тільки свідків злочину, але навіть їхніх віддалених нащадків, а докази давно викинуті в невідомому напрямку. Так от, відновлення нашої історії ще складніше.

¹Гомініди — сімейство найбільш розвинених приматів.

²Людина вміла.

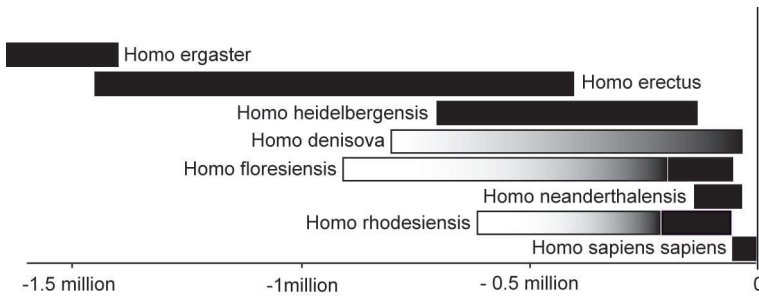


Рис. 1.21. Інтервали часу існування різних видів людей. Добре помітно зникнення різноманіття з появою *Homo sapiens*. Одночасно з ним деякий час існували тільки *Homo denisova* і *Homo neanderthalensis*. У генах сучасних людей виявлено близько 2–3% генів *Homo neanderthalensis* у європейців і 4.8% генів *Homo denisova* у меланезійців і австралійських аборигенів.

При відновленні історії виникнення Людини зазвичай використовується принцип розумності і бритви Оккама. Сформулював цей принцип англійський францисканський чернець, Вільям з Оккама (1285–1349). Принцип формулюється так: «не слід множити суще без необхідності». Іноді використовують формулювання «не треба залучати нові сутності без крайньої на те необхідності». Слід зазначити, що цей принцип був відомий ще за часів Арістотеля, а вперше його назвав «бритвою Оккама» професор Единбургського університету Вільям Гамільтон.

Не треба залучати нові сутності без крайньої на те необхідності.

Природно, спочатку виникло кілька різних видів, які ми маємо віднести до виду *Номо*, тобто до людей. При цьому

вони не просто змінювали один одного, а більшу частину часу співіснували (див. Рис.1.21). Зрозуміло, нам відомі не всі види Номо, але про деякі ми вже знаємо. Тварини роду Номо з'явилися в Африці приблизно 2.5 млн років тому. Близько 2 млн років тому вони покинули батьківщину та розселилися в Азії, Європі й Північній Африці. У Європі закріпився Номо *neanderthalensis*¹. Ці люди добре пристосувалися до холодного клімату Європи в льодовиковий період. Інший вид Номо *erectus*² успішно освоював Азію. В 2010 році відкритий новий родич Номо *denisova*³. Це трапилося під час розкопок у Денисовій печері (Алтай). Та й у Африці з'являлися нові представники — Номо *rudolfensis*⁴, Номо *ergaster*⁵, Номо *sapiens*⁶. Відомий і інший екзотичний наш родич, наприклад, Номо *soloensis*⁷, який жив на острові Ява.

Сто тисяч років тому по Землі ходило не менше 6 різних видів людини. Залишилася тільки Номо sapiens!

Сучасний генетичний аналіз нашого геному виявив сліди схрещування Номо *sapiens* з Номо *neanderthalensis*. Приблизно 2–3% генів неандертальців є в наших генах, окрім, природно, жителів Африки. Зрозуміло, що у них такі гени відсутні, бо вони залишалися в Африці. Аналогічні схрещування встановили і з денисівцями за залишками їхніх генів в азіатській популяції

¹Людина з долини Неандер.

²Людина прямоходяча.

³Денисівська людина.

⁴Людина з озера Рудольф.

⁵Людина працююча.

⁶Людина розумна. Зрозуміло, таку «скромну» назву своєму виду вона придумала сама.

⁷Людина з долини Соло.

(4.8%). Найцікавіше, що, вивчаючи геном жителів півдня Азії, вчені в 2019 році виявили наявність слідів схрещування із двома невідомими видами людей!

В принципі, це не повинно дивувати. Було б дивно, якби ми знали всіх представників Номо. Впевнено можна сказати, що всі вони були різними: дрібними, великими, гарними мисливцями, збирачами, сміливими і не дуже. Близько ста тисяч років тому по Землі крокували не менше 6 різних видів людини. Залишилася тільки Номо sapiens!

Hell is empty and all the devils are here!

William Shakespeare The Tempest

Вся нечисть

Сюди прибігла з пекла!

Вільям Шекспір. Переклад Миколи Бажана

Розглядаючи себе, можна багато чого довідатися про наших пращурів. Звернемо увагу на кілька очевидних фактів. По-перше, у нас немає хвоста. По-друге, ми пересуваємося не так, як більшість інших тварин. По-третє, у нас великий мозок. І по-четверте, ми втратили вовну. Звичайно, не всі і не всю, але в порівнянні з нашими братами меншими ми голі. Усі ці факти зовсім не тривіальні.

Почнемо з першого. Відсутній хвіст не тільки у нас, а й у всіх людиноподібних мавп. Це означає, що він був втрачений дуже давно. Причина, по якій це відбулося, швидше за все пов'язана зі збільшенням ваги наших загальних предків і, відповідно, зміни способу переміщення по деревах. Так, невеликі мавпи пересуваються по гілках, бігаючи на чотирьох кінцівках і використовуючи хвіст як балансир при стрибках. Зі збільшенням ваги гравітація змушує обрати інший спосіб пересування на руках, утримуючись за гілки над головою та повисаючи на них. Це мало привести до формування більш гнучких і рухливих рук. Можливо, такий спосіб пересування сприяє і розвитку крокування

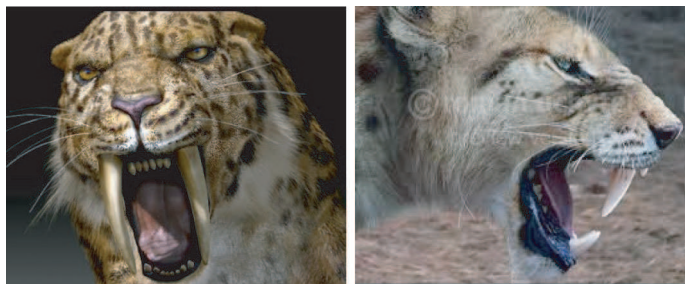


Рис. 1.22. Ліворуч *Смілодон* (*Smilodon populator*) — шаблезуба кішка. Займає третє місце за величиною в сімействі котячих, поступається тільки печерному й американському левам. Існувала від 2.5 млн до 10 тис. років до н.е. в Америці. Назва походить від латинського *populator* — грабіжник, розбійник. Це говорить багато про що. Праворуч — шаблезуба кішка *Promegantereon oduglia* — європейський представник, що існував у цей же період часу паралельно з нашими предками.

по гілках. Подібний спосіб пересування демонструють сучасні орангутани. Хвіст при такому способі пересувань стає не потрібним. Еволюція виправила цей недолік, вилучивши хвіст. Треба зазначити, що еволюція не завжди видаляє непотрібний елемент, досить згадати апендикс людини. Швидше за все це означає не тільки, що хвіст був не потрібний, а навіть шкідливий.

Друге наше спостереження — про двоногість — теж цікаве. Існує багато теорій її походження. Як ми відзначали вище, джерела її могли перебувати в дуже давньому минулому, ще до появи Номо. Необхідність у її вдосконалюванні зросла при зміні клімату, зі зникненням лісів і наступом савани. Це змушувало до пересування по землі та спостереженню за хижаками. Загалом можна вказати безліч причин, через які розвивалося прямоходіння. Швидше за все діяв цілий комплекс причин. Вивчення

прадавніх останків привело до розуміння, що прямоходіння виникло дуже давно, ще до збільшення мозку. Так, сахелантроп чадський (*Sahelanthropus tchadensis*, обсяг мозку 340–360 см³), що жив близько 7 млн років тому, вже мав анатомічні особливості, що вказують на використання такого способу пересування, а Афарський австралопітек (*Australopithecus afarensis*, обсяг мозку 380–430 см³), що жив приблизно 3.5 млн років тому, мав прямоходіння, що повністю сформувалося. Тож ми одержали прямоходіння в готовому вигляді ще від наших «мавп'ячих» предків.

Перейдемо тепер до третього пункту. Ми впевнені, що великий мозок дає величезну еволюційну перевагу. Однак, якщо глянути на це неупереджено, то це зовсім не очевидно. Дійсно, такий великий мозок та ще з черепом потрібно носити із собою постійно, що вимагає великих енергетичних витрат. Крім цього, його потрібно годувати. Так, у людини приблизно 25% енергії витрачається на мозок при його вазі, що становить 2%–3% ваги тіла. Інші тварини витрачають на нього близько 8% енергії. Таким чином, наші предки повинні були посилено займатися годівлею мозку. При цьому, витрачаючи загальні ресурси на мозок, вони неминуче послабляли м'язи.

Як міг мозок допомогти при втраті фізичної міці? Та ніяк. Більшу частину своєї історії людство займало зовсім незначну роль у харчовій піраміді. Деякі вчені вважають, що кам'яні знаряддя потрібні були людині, щоб дістатися до кісткового мозку, що залишається після хижаків. Це була його екологічна ніша.

До речі, не треба думати, що це було простим і безпечним заняттям. Крім загрози потрапити на обід великому хижакові, потрібно вчасно потрапити до столу, витримати конкуренцію з іншими бажаними поживитися і, нарешті, швидко обробити та забрати залишки.

Частково такий сценарій підтверджується розкопками і знахідками безлічі рештків тварин, убитих великими хижаками, що носять сліди обробки кам'яними ножами і скреблами.

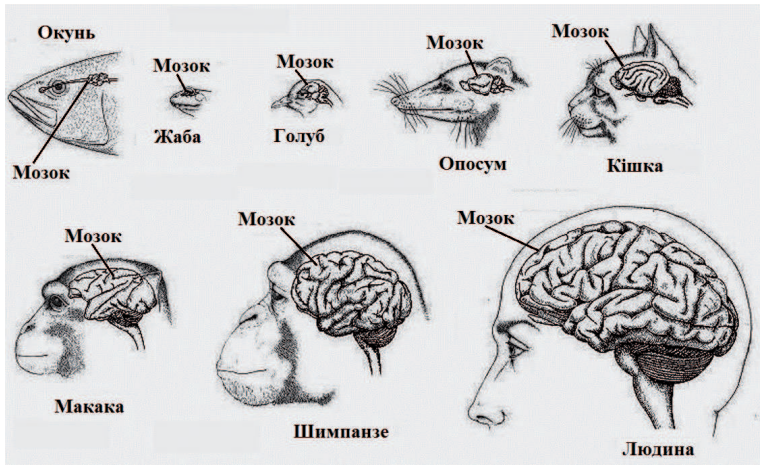


Рис. 1.23. Порівняльні розміри мозку різних тварин і людини.

У певному сенсі великі хижаки, особливо котячі, зіграли величезну роль у вихованні людини як хижака. Палеонтологи виявили безліч останків наших предків, убитих хижими тваринами та навіть орлами.

Людина стала надхижаком — єдиним у мирному сімействі гомінід.

Навіть не вдаючись у такі подробиці, можна зрозуміти, що роль людства була зовсім незначною. Та й чисельність людства була мала і за приблизними даними на ранніх етапах ніколи не перевищувала 1 млн особин. Тільки 400 000 років тому людство почало полювати на великих тварин — і 100 000 років тому *Homo sapiens* застрибнув на вершину харчової піраміди. Для цього і знадобився великий мозок. І ось тут люди вже не згаяли досягнутого. Слід зазначити, що неандертальці,

а потім кроманьонці стали найнебезпечнішими хижаками свого часу. Стоянки цих людей завалені рештками тварин. Швидше за все всі великі тварини, навіть такі, як печерні ведмеді, леви, гієни, були знищені в Європі саме ними. Можна сказати, що вихованець перевершив своїх зубастих та ікластих вчителів. Людина стала надхижаком — єдиним у мирному сімействі гомінід.

В человеческом организме
девяносто процентов воды,
как, наверное, в Паганини
девяносто процентов любви.

Даже если — как исключение —
вас растаптывает толпа,
в человеческом
назначении
девяносто процентов добра.

Андрей Вознесенский

Організм у людини є
на дев'яносто відсотків водою,
як, мабуть, і Паганіні є
на дев'яносто відсотків
любов'ю.

І якщо — випадок винятковий —
Вас ногами топче юрба,
та в призначенні все ж
людському
дев'яносто відсотків добра.

Андрій Вознесенський. Переклад Ганни Яновської

Таким чином, більшу частину еволюційного часу людина була слабкою і пригнобленою, що залишило відбиток і на сучасному людстві. Ми не готові до свого очолюючого становища. Вся

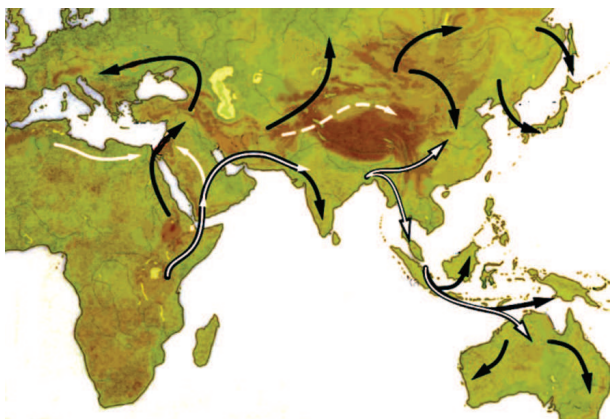


Рис. 1.24. Шляхи розселення *Homo sapiens*. Білими стрілками позначене раннє розселення 120–60 тис. років тому, чорними — пізні міграції 70–30 тис. років тому.

історія людства супроводжувалася безліччю жорстоких подій. Для цього досить згадати екологічні проблеми, війни та інші подібні «прикраси» людської історії.

Такий різкий перехід корелює з одним із найбільших досягнень людства — освоєнням вогню. Це найбільше досягнення людства того часу. Невідомо, коли та де це відкриття було зроблено, але близько 300 тис. років тому люди почали користуватися вогнем. Тепер фізична міць втратила домінуючу роль. Навіть дитина могла підпалити ліс разом із усіма його мешканцями і знищити їх. Вогонь зіграв величезну роль в еволюції. Насамперед, він розширив діапазон харчування. Багато чого, що було неїстівним, після обробки вогнем ставало їстівним. Крім цього, спростилося переварювання їжі. Це дозволило зменшити довжину кишечника та, відповідно, зменшити енерговитрати, і людина змогла збільшити мозок до розмірів, характерних *Homo sapiens* і *Homo neanderthalensis*.

Наступний етап різкої зміни в історії людства почався приблизно 70–30 тис. років тому, коли *Homo sapiens* знову вийшов з Африки. Цього разу його похід призвів до зникнення всіх інших видів людей. Як це відбулося, важко встановити. Існувало всього кілька можливостей. Він міг знищити свою більш відста-лу рідню. Могла відбутися асиміляція інших видів і поглинання їх. Він міг зайняти їхню харчову нішу і витиснути їх у несприятливі умови, де вони зникли самі по собі. Швидше за все, усі ці механізми відбувалися одночасно. На користь наявності змішування видів свідчать сучасні дослідження генів людини, що виявили 3% генів сучасного населення Близького Сходу і Європи, які належать неандертальцям. Зрозуміло, це небагато, але такий компонент помітний.

Причина етапу, що стався 70–30 тис. років тому, неясна, але багато вчених схильні вважати, що відбулися мутації, які змінили мозок і анатомію так, що стало можливим спілкування і з'явилася мова. Винахід мови винятково важливий. Зрозуміло, мова сигналів існувала задовго до цього і не тільки у людини. Навіть у соціальних комах була своя мова — мурах, термітів, бджіл. Наприклад, мова бджіл — це мова танцю, танцюючи, бджола-розвідник повідомляє інформацію про напрямок, віддаленість і кількість запасів. Насправді, обмін інформацією мав відбуватися навіть на клітинному рівні. Як інакше може багатоклітинний організм організувати злагоджену роботу всіх його компонентів? Мова клітин і бактерій — це хімічна мова, в якій роль слів виконують молекули різних хімічних сполук. Однак *Homo sapiens* винайшов іншу мову. Він міг нею не тільки передавати інформацію про існуючі речі, але й інформацію про неіснуючі речі. Так виникла основа для більш глибокого соціального об'єднання людей.

I'm Nobody! Who are you?
Are you — nobody — too?
Then there's a pair of us!
Don't tell! They'd banish us — you know!

Emily Dickinson

Я — Ніхто! Ти теж Ніхто!
Ми й пара в тім якраз.
Тож ні слова більш про це,
Щоб не прогнали нас.

Емілі Дікінсон. Переклад Олега Зуєвського

Нарешті слід обговорити останню характерну нашу рису — безволосість. Це гола правда. Безволосість — вже точно рідкісне явище у світі тварин. Таких тварин відомо небагато. Наприклад, голий землекоп, або «піщане цуценья», який веде підземний спосіб життя в сухих саванах і напівпустелях Кенії, Ефіопії та Сомалі. Кумедно, що це теж соціальна тварина. Її соціальна структура дивна і дуже схожа на структуру колоній соціальних комах. При підземному або підводному способі життя ще можна зрозуміти, як можна обійтися без вовни. Але для наземних тварин важко навіть уявити можливу вигоду від цього. Важко, але можна.

Почнемо знову із двоногості та пересування по савані для добування їжі.

Двоногість — більш ефективний спосіб пересування, крім цього таке положення тіла зменшує приблизно втричі одержуване сонячне опромінення. Але при бігу на велику відстань у шубі перегріву організму не уникнути. Тому вигідно позбутися шуби і додати безліч потових залоз на шкірі. Вони виділяють рідину, яка, випаровуючись, охолоджує шкіру. Це одна вигода. Ще одну причину — соціальну — також часто обговорюють. Вона полягає в затримці розвитку деяких ознак і, як наслідок, призводить до збереження дитячих рис у дорослих



Рис. 1.25. *Горили. Самка ліворуч, sameць праворуч.*

тварин. Для цього навіть придумали спеціальний термін — не-отенія, або ювенілізація. Такий дитячий вигляд викликає в багатьох тварин інстинкт турботи. Мати такі ознаки зручно самкам, стимулюючи турботу самців про них. Легко помітити, що наприклад, горили жіночої статі виглядають цілком людяно на відміну від звірячого вигляду самців (див. Рис.1.25). Ще одну користь від втрати вовни можна одержати в боротьбі з паразитами. Власне, всі ці фактори і привели до втрати вовни людиною в процесі еволюції. Однак, це було так повільно, що кожне покоління навіть не бачило ніяких змін у своєму вигляді! Усім заправляла генетична еволюція. Помітні зміни з'являлися тільки на проміжках часу життя декількох поколінь.

1.6. Народження Соціуму

Ми соціальні істоти. Для нашого комфортного існування необхідний соціум. Соціологи цим словом називають велику групу людей із загальними поглядами, моральними цінностями, традиціями, історією та культурою. Труднощі, яких зазнає ізольований індивідуум, добре описані в знаменитому романі Данієля Дефо «Робінзон Крузо». Роман опублікований в 1719 році, на самому початку XVIII століття. Темою роману стали реальні події, що відбулися із шотландським моряком Александром Селькірком, що здичавів на незаселеному острові за відносно невеликий період перебування на ньому. Зрозуміло, в романі описані подібні умови ізоляції, але вигаданий більш щасливий фінал. Треба думати, що для сучасної людини, зніженої цивілізацією, така ізоляція може закінчитися ще гірше. Інші соціальні істоти, наприклад мурахи, і зовсім не можуть існувати в ізоляції від свого соціуму.

Ми соціальні істоти.

Велику роль у розумінні сучасної людини відіграє те, що вся її історія відбувалася в кам'яному віці. Для того щоб переконатися в цьому, досить подивитися на Рис.1.27. Ця обставина безумовно повинна відбиватися і на психології сучасної людини.

В Європі кам'яний вік закінчився приблизно 6 тис. років тому. В деяких місцях і спільнотах на Землі він ще триває й зараз.

Механізм виникнення суспільної поведінки людей ховається в глибині століть. Зміна клімату викликала наступ савани на територію тропічних лісів. Як наслідок, примати спустилися з дерев і змушені були мігрувати по савані (див. Рис.1.26), їхня зграйність могла зіграти позитивну роль у виживанні. Кожний представник такої зграї окремо мав незначну фізичну міць. Будь-який член зграї поступався практично всім



Рис. 1.26. *Такий вигляд має африканська савана. Схожою була сцена, на якій почав свій виступ наш предок.*

«професійним» хижакам того часу. Згуртована зграя вже могла вижити і чинити опір деяким хижакам. Можна сказати, що ті, хто не скористався цим принципом, просто не вижили.

Для існування та еволюції в африканській савані важливу роль мали зіграти два фактори. Це зміна структури харчування — перехід від вегетаріанства до всеїдності і м'ясоїдства через відсутність у степу доступних істотних ресурсів рослинного походження. Ресурси були зосереджені у формі тварин. Однак добування такого харчування вимагало більших фізичних зусиль і спрощувалося при розвиненій соціальній структурі. Крім цього, ставало необхідним спостереження за пересуванням тварин, а це вимагало збільшення зросту і стимулювало прямоходіння. З'явилася причина для виникнення більш глибокої спеціалізації спільноти. Так, полюванням могли займатися фізично більш розвинені особини. Слабкі особини ускладнювали як пересування, так і прихованість.

З розвитком спеціалізації мала виникнути ідея появи постійного житла. Деяка частина племені могла займатися дрібними господарськими справами, очікуючи появи мисливців зі

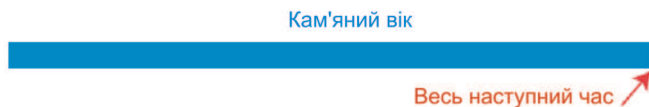


Рис. 1.27. Зображена тривалість існування Людини. Помітно співвідношення між тривалістю кам'яного віку (синій відрізок), і всім наступним часом (червоний відрізок).

здобиччу. Там можна було виготовляти кам'яні знаряддя. Житло також служило захистом для дитинчат і самок. Зрозуміло, поява постійного житла створювала нову проблему — проблему паразитів, розмноження яких тепер відбувалося в житлі, і кількість їх могла сягати загрозливих розмірів. Можливо, втрата вовни людьми — природна відповідь на цю проблему.

Уся історія людства відбувалася в кам'яному віці.

Зрозуміло, так могла виникнути й моногамія. До речі, це рідкісне явище у світі тварин. Моногамія спостерігається лише у 5% ссавців. У наших предків цей стимул повинен був підтримуватися еволюцією, інакше робота на соціум не виглядала привабливим заняттям. Дійсно, при її виникненні мала зменшитись агресивність серед самців. При цьому самки віддають перевагу не найбільш агресивним, а найтурботливішим, що приводить до подальшого посилення цієї тенденції. Зменшення агресивності самців у свою чергу знижує рівень соціальних проблем. Крім цього, самцю вже доводиться добувати їжу в основному тільки для «своїї» самки і свого потомства, що економічно більш вигідно. Підсилюється відповідальність за виховання потомства у вигідному для соціуму напрямку. Таке

виховання робить кращим вибір суспільних, а не своїх егоїстичних інтересів. З ростом чисельності соціуму досить важливим фактором вибору моногамії може служити і запобігання поширенню захворювань, які передаються статевим шляхом. Такі захворювання часто приводять до безплідності, що абсолютно не вигідно і небезпечно для соціуму.

До речі, зауважимо, що в соціумах, де дотепер збереглася полігамія, рівень злочинності, насильства, бідності і статевої нерівності значно вищий, ніж у суспільствах, які практикують моногамію. У свою чергу, моногамія веде до виникнення більш складних соціальних правил поведінки і в остаточному підсумку до виникнення «моралі». Фактично це вирішувало складну проблему суспільного співіснування окремих особин.

Варто зауважити, що існує точка зору, згідно з якою моногамія не наслідок, а навпаки, домінуюча сила нашої еволюції. Антрополог Оуен Лавджой вважає саме її найважливішим елементом для розуміння еволюції гомінід, а не збільшення мозку і використання кам'яної зброї. Збільшення мозку виникло і почало впливати вже значно пізніше. Свій висновок учений обґрунтовує будовою зубів наших «мавп'ячих» предків! Обговоримо, як здобуваються знання про нашу історію в детективному дусі, розглянувши детальніше його висновок. Знахідки останків одного з наших предків — ардіпитеків (вони жили близько 4.4 млн років тому) — виявили відмінність їхніх зубів від зубів, наприклад, найближчих «родичів» — горил і шимпанзе. Виявилося, що ікла, які присутні у горил і шимпанзе, відсутні у наших предків. Роль цих ікол у горил і шимпанзе зводиться до зброї та ефективного засобу в боротьбі самців за самок. У наших предків ікла поменшали значно раніше, ніж вони стали використовувати кам'яну зброю. Зменшення ікол може свідчити про зменшення агресивності і виникнення більшої терпимості у відношеннях між самцями.

Нагадаємо, що стратегія репродукції, яку обрали всі людиноподібні мавпи, зводиться до народження малої кількості

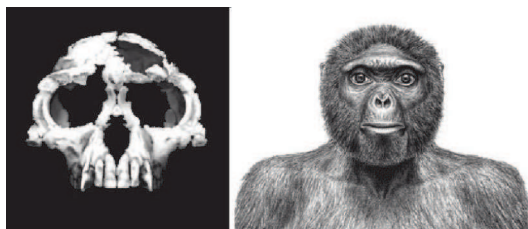


Рис. 1.28. Зліва череп *ардипітека* (*Ardipithecus ramidus*), а праворуч — його художній образ.

дитинчат, але вкладання в дитинча більших ресурсів. У тваринному світі відомі дві протилежні стратегії розмноження. Одну ми вже описали, а друга — народжувати якнайбільше дитинчат, але вкладати в них якнайменше ресурсів. Оскільки самці не вели агресивну боротьбу за самок, значить, вони знайшли інший спосіб досягнення успіху. Цим способом виявилася моногамія — створення міцних сімейних пар. В цьому випадку самці беруть активну участь у турботі про потомство. Вони годують самок і потомство, значно збільшуючи шанси на виживання. Необхідність доставки їжі самці додатково могла привести й до виникнення і розвитку двоногості. При цьому неотенія, або ювенілізація¹ самок сприяла прояву інстинкту турботи у самців.

До речі, великий мозок у дитинчат робить більш безпечним якраз раннє народження дитинчати як для нього, так і для самки, та підсилює тенденцію до неотенії. Більш раннє народження у свою чергу збільшує дитячий період дитинчати і вимагає від батьків більших зусиль та часу на його вирощування.

На цьому ми закінчимо виклад у спрощеній формі ідеї Оуена Лавджоя про еволюцію гомінід, де моногамія має домінуюче значення. Деякі специфічні деталі цієї точки зору ми тут не обговорюємо, наприклад, чому тільки в єдиних приматів —

¹Неотенія, або ювенілізація — прояв у дорослих особин рис, властивих дитячим особинам.

людей — самки мають постійно великі груди. Читач, що зацікавився, може більш детально ознайомитися із цими питаннями в спеціалізованій літературі.

Открыв наук зеленый том,
Я долго плакал, а потом
Его закрыл и бросил в реку.
Науки вредны человеку.
Науки втянут нас в беду —
Возьмемтесь лучше за еду.

Даниил Хармс

Гортав я том товстий наук —
І з горя випустив із рук,
І в річку викинув подалі.
З науки людям лиш печалі,
З науки людям стільки бід!
Сідаймо краще за обід.

Данило Хармс. Переклад Ганни Яновської

Зрозуміло, мораль і правила поведінки повільно, але безупинно змінювалися, підлаштовуючись під зміну умов існування. У певному сенсі на ранньому етапі еволюція моралі підтримувалася генетичною еволюцією, а не культурною. Така повільна генетична еволюція тривала досить довго. Протягом одного покоління не відбувалося ніяких видимих змін. У цьому легко переконатися, вивчаючи кам'яні знаряддя, які можна датувати і аналізувати їхні зміни. Малі зміни спостерігаються протягом життя багатьох поколінь.

Слід зазначити, що чудовим наслідком цього має бути наявність вроджених моральних основ, вмонтованих у наш мозок і існуючих навіть у новонароджених дітей. Уявлення про те, що дитина народжується з мозком, подібним до чистого аркуша, на якому, навчаючись, вона запише свої знання, досить далекі від



Рис. 1.29. *Холе-Фельська Венера, вік 35–40 тисяч років. Найдавніша зі знайдених палеолітичних скульптур. Знайдена у 2008 році в печері Холе-Фельс поблизу німецького міста Шельклінгена.*

дійсності. Ми народжуємося з багатьма вродженими знаннями. Усім добре відомо, що здатність плазувати, та й ходити є вродженими. Багато хто скаже: ну то це рефлекторна діяльність. Досить покласти немовля на животик — і воно спробує повзти. Однак і такою діяльністю керує мозок.

Насправді серед вроджених здібностей є навіть така складна, як здатність формувати поняття. Так, дитина здатна розрізняти предмети, до яких вона раніше тільки торкалася, за їхнім виглядом. Ендрю Мелтзофф і Ричард Бортон довели це експериментально. Дослідники пропонували малятам пустушки звичайної форми і з пухирцями. Інакше кажучи, предмети відрізнялися за формою. Ці пустушки давалися малятам так, щоб вони їх не бачили. Далі малята смоктали їх приблизно півтори хвилини. Непомітно виймаючи пустушки, дослідники показували зображення цих пустушок малятам. Більшість малят вибирала пустушку, яку вони смоктали. І це в 29-денному віці! Отже, за дотику малята були здатні відтворити зоровий образ! Ясно, що для цього потрібно вміти будувати загальну модель предмета.

When I was One
I had just begun.
When I was Two,
I was nearly new.
When I was Three,
I was hardly Me.
When I was Four,
I was not much more.
When I was Five,
I was just alive.
But now I am six, I'm as clever as clever.
So I think I'll be six now for ever and ever.

Alan Alexander Milne

Коли мені був рік,
Я до життя не звик.
Коли я мав два роки,
Робив я перші кроки.
Мені три роки стало —
Та й це було замало.
Минув мені і п'ятий —
Все був я малуватий.
Тепер мені гарно, бо я
шестирічний!
І мабуть шість років мені
буде вічно!

Алан Олександр Мілн. Переклад Ганни Яновської

Також експериментально було доведено, що ми народжуємося «матеріалістами». Дитина розуміє, що предмет не може зникнути, якщо його накрити, наприклад, екраном. Крім цього, з дводенного віку ми маємо навіть вроджені математичні здібності і здатні розрізняти відносну кількість речей. Не вдаючись у дитячу психологію, важливо зазначити, що деякі



Рис. 1.30. Бізон. Живопис пізнього палеоліту, виявлений в 1868 р. у печері Альтаміра в Кантабрійських горах (епоха Мадлен, 15–10 тисячоліття до н. е.). Після відкриття печерного живопису у Франції розписи Альтаміри визнали справжніми.

важливі уявлення еволюція визнала за потрібне зробити вродженими.

Повертаючись до соціуму *Homo Sapiens*, звернемо увагу на якісний стрибок в його розвитку. Величезна зміна людського соціуму спостерігалася приблизно 70–30 тис. років тому (див. вище). Вважається, що найбільш імовірна причина цього — генетичне відкриття мови, яка вивела спільноту людей на абсолютно новий соціальний рівень. Значимість соціуму різко зросла. Якщо подивитися на творчість *Homo sapiens* цього періоду, то можна легко помітити виняткову близькість до сучасної культури. Скульптура Венери (Рис.1.29) цілком могла бути авангардистським здобутком теперішнього часу. Образ бізона (Рис.1.30) видається нам винятково сучасним за стилем і одночасно, незважаючи на лаконізм, реалістичним. Таке відчуття, що генетично ми цілком відповідні тим людям.

Ще один важливий елемент присутній у нашому соціумі, його називають альтруїзм. Чому ми безкорисливо допомагаємо іншим? З погляду розповсюджених уявлень про еволюцію як безперервну боротьбу за існування, це виглядає парадоксальним.

Дійсно, навіщо витрачати сили на допомогу супернику, зменшуючи свої шанси на успіх. Головне, перемогти за всяку ціну. Проте ми можемо виявити безліч прикладів, коли люди допомагають іншим, починаючи від добування їжі до захисту своєї території. Більш того, це спостерігається не тільки в людей, а й досить широко розповсюджене в природі. Моделюючи поведінку суспільств із зіткненням інтересів, вчені виявили, що в результаті зміни багатьох поколінь виникає співробітництво між представниками такої спільноти. Стратегія «послуга за послугу» змінювалася більш м'якою стратегією продовження співробітництва навіть при обмані деякими представниками суспільства. Найважливішу роль у такій поведінці відіграє пам'ять.

**Співпраця є домінуючою силою еволюції,
а «Людина — суперкооператор».**

Схоже співробітництво спостерігається у кажанів — вампірів. Ці кажани живуть постійними зграями, повертаючись на нічівлю в одне й те саме місце. Важкий процес добування крові для їжі не завжди проходить успішно. Тоді невдаха-кажан може випросити їжу у своїх більш вправних сусідів. Дослідження показали, що кажани запам'ятовують, кому надавали допомогу. У невдалий момент «боржник» виявить таку саму допомогу.

Відомо кілька механізмів виникнення співробітництва. Всі вони реалізуються у різних представників живої природи — від найпростіших до людини. Така поширеність і універсальність дозволяє припустити, що співробітництво є домінуючою силою еволюції. А люди є видом, найбільш схильним до співробітництва. Як стверджує професор біології Мартін Новак: «Людина — суперкооператор». Переваги такої стратегії в процесі еволюції стають не просто помітними, а приголомшливими. Однак можливі періоди, коли вигідним стає обман і кількість

шахраїв може зростати. Проте в середньому тенденція до чесного співробітництва переважає.

Ще одне важливе надбання соціуму потрібно згадати. Це колективний Розум, або ройовий інтелект. Почнемо з обговорення, що таке інтелект взагалі. Насправді ми не знаємо, що це таке, і це головна проблема створення штучного інтелекту. Але в якості робочого визначення, з яким багато хто погодиться, будемо використовувати просте визначення. Інтелект — здатність вирішувати різні завдання і ефективно адаптуватися. Саме слово інтелект походить від латинського *intellectus* — сприйняття, розуміння, поняття, розум.

Якщо використовувати таке визначення, то стає ясным, що мірою інтелекту може бути здатність успішно виживати в навколишньому світі. Треба визнати, що такого сорту задачі, як виживання, слід віднести до найскладніших. Досить нагадати, що 99.9% видів живих істот зникли, не розв'язавши цю проблему. Тоді зовсім не факт, що найбільш інтелектуальні істоти — це люди. По-перше, вони існують відносно недовго, по-друге, досить часто людство в цілому знаходилося на небезпечній межі вимирання. При цьому протягом більшої частини часу існування наш вид перебував у геть пригнобленому стані. Лише нещодавно людина зайняла домінуючу позицію серед живих систем.

Соціальні комахи, наприклад мурахи, існують набагато довше. Вони виникли в такі віддалені часи, коли на Землі царювали динозаври. Принципи їхньої поведінки зазнали випробувань протягом 100 млн років. Увесь цей час вони еволюціонували і створювали свою соціальну «цивілізацію». Вони відкрили тваринництво, сільське господарство, будівництво складних міст, мову спілкування та багато чого іншого задовго до появи людини. Ці істоти процвітали, процвітають і будуть процвітати в майбутньому. Як це можливо? Ясно, що мозок окремої людини навіть неможливо порівняти з «мозком» мурахи. Як соціальні комахи досягли таких успіхів у виживанні та вирішенні проблем? Мурахи є скрізь: у полях, лісах, містах. Загальна



Рис. 1.31. *Рух зграї шпаків.*

маса малесеньких мурах, які зараз живуть, перевищує або приблизно дорівнює масі всього людства і становить 10–25% біомаси всіх наземних тварин.

Не можна не визнати, що ми стаємо перед проблемою виникнення адаптації колективів взаємодіючих об'єктів. Слід сказати, що як науковий термін ройовий інтелект виник відносно недавно, в 1989 році в роботі Херардо Бені та Ван Цзіна з назвою *Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems* («Ройовий інтелект в системі клітинних роботів»). Однак ще в 1964 році цю ідею було сформульовано письменником Станіславом Лемом у фантастичному романі «Непереможний». У цьому романі Лем описує зіткнення команди космічного крейсера «Непереможний» з колективом роботів — «мушок». Земляни виявилися безсилі проти величезної кількості досить примітивних роботів.

Системи, які проявляють ройовий інтелект, складаються з безлічі об'єктів, або агентів, що взаємодіють один з одним і навколишнім середовищем. Головне в такій системі — відсутність центру керування агентами. Агенти здійснюють

взаємодію, керуючись деякими простими правилами. Для прикладу наведемо правила, що приводять до формування та узгодженого руху зграї птахів. У природі такі зграї часто формують шпаки (див. Рис. 1.31). Крейг Рейнольдс в 1986 році сформулював три прості правила і розробив комп'ютерну модель для відтворення руху зграй. Це було дуже просто. Кожний птах користувався трьома правилами:

- 1) Напрямок руху птах вибирає в напрямку середньої швидкості найближчих сусідів по зграї.
- 2) Кожний птах прагне наблизитися до сусідів.
- 3) Не наближатися занадто близько до інших птахів.

Результати моделювання за цими правилами привели до дуже правдоподібних рухів зграй. Досить швидко їх стали використовувати в кіно й графічних редакторах для тривимірної графіки. Уже у фільмі «Бэтмен повертається» 1992 року всі сцени зі зграями кажанів отримані за допомогою такого моделювання. Зараз опубліковано багато наукових праць, присвячених цій проблемі, і розуміння руху зграй суттєво просунулось.

Таким чином, прості індивідуальні правила призводять до колективної поведінки. В результаті виникає інтелектуальна колективна поведінка. Зараз прийнято говорити про емергентність такої системи. Під емергентністю розуміють виникнення у системі властивостей, відсутніх у всіх її окремих елементів. Заждіть, але чому тоді в якості таких агентів не можуть бути розглянуті люди деякого суспільства? Чому не можуть — можуть. Можна сказати, що в нас є два інтелекти: власний інтелект кожного й ройовий інтелект усього суспільства. Зрозуміло, ми про це можемо навіть не підозрювати. Таке відкриття було зроблено давно й частково випадково. Одного разу англійський вчений Френсіс Гальтон (1822–1911) зібрався на сільський ярмарок у місто Плімут. Його цікавили нові породи тварин, які

могли з'явитися на ярмарку. Гуляючи по ярмарку, він став свідком кумедного конкурсу. Конкурс полягав у тому, що публіці показали бика. За умовами конкурсу було потрібно вгадати вагу цього, але вже оббілованого бика. Той, чий здогад буде ближче всього до правильної ваги, одержить приз. Отут і виявився справжній дух вченого. Гальтону спала на думку аналогія з демократією. Сам він не був прихильником цього способу керування суспільством. Тоді Гальтон попросив організаторів конкурсу після його проведення віддати йому квитки з відповідями. Усього він одержав 783 квитки. Повернувшись додому, він вдався до аналізу відповідей. Зрозуміло, він очікував підтвердити вислів Солона (IV століття до н. е.): «Кожний афінянин — хитра лисиця, але коли вони збираються разом, то стають отарою баранів».

У нас два інтелекти — власний і колективний.

Треба зазначити, що Гальтон добре знав математичну статистику і розумів, як потрібно обробляти результати експерименту. Спочатку він побудував розподіл відповідей і переконався, що конкурс був чесним. Отриманий розподіл відповідей, як він і очікував, збігався з нормальним законом розподілу, отже, шахрайства не було. Після цього він обчислив середнє значення ваги бика — передбачення колективу. Яким же був його подив, коли він одержав вагу 1197 фунтів, що відрізнялася від дійсної ваги бика 1198 усього на один фунт! Передбачення юрби виявилось набагато точнішим, ніж будь-якого окремого її представника, та навіть переможця цього конкурсу.

Інакше кажучи, колектив виявив видатний інтелект і розв'язав це завдання краще, ніж кожен його представник. Результати своїх спостережень Гальтон опублікував у престижному науковому журналі Nature. У статті він змушений був

визнати, що результати говорять «радіше на користь демократії». Зрозуміло, ніхто з учасників навіть не підозрював, що вони виявили колективний інтелект. Це приблизно, як будь-який нейрон нашого мозку і гадки не має, про що ми думаємо. У цьому, можливо, полягає прихована сила соціумів. У різних соціумах може бути різне співвідношення між індивідуальним і колективним інтелектами. Початки цих досліджень, з погляду психології, були закладені ще Карлом Юнгом, Зігмундом Фрейдом, Гюставом Лебоном, Жаном Габріелем Тарде та ін. Однак ми й досі перебуваємо тільки на початку шляху.

Розвиток соціуму, звісно, не припинився. Як він буде еволюціонувати в майбутньому — вкрай цікаве питання. Відповідь на нього науці наразі невідома.

Розділ 2.

Проблеми

Сама поява будь-якого якісно нового об'єкту означає появу певної проблеми. Проблема — це складне питання або нова задача, що потребують вирішення і дослідження. Нова задача! Насамперед, з'являється проблема стійкості цього об'єкта. У відкритому світі, де цей об'єкт виник, потрібно очікувати певних зовнішніх загроз для його існування. Тому самої стійкості цього об'єкта недостатньо для його тривалого існування. Отже, як легко зрозуміти, день народження об'єкта автоматично породжує проблему його зникнення. Ще прадавні запропонували філософську гіпотезу: «Ніщо не є вічним під Місяцем». Хоча ця думка часто приписується Шекспіру, вона була сформульована набагато раніше, виникла серед східних народів, де використовували місячний календар.

Some say the world will end in fire,
Some say in ice.
From what I've tasted of desire
I hold with those who favor fire.
But if it had to perish twice,
I think I know enough of hate
To say that for destruction ice

Is also great
And would suffice.

Robert Frost «Fire and ice»

Хто каже, згубить нас вогонь,
Хто каже — лід.
Я знав жар пристрасних долонь,
Тому я з тим, хто за вогонь;
Та коли б двічі гинув світ —
З ненавистю теж мавши стріч,
Скажу, для знищення і лід
Солідна річ,
Й наробить бід.

Роберт Фрост. Переклад Валерія Кикотя

Далі обговоримо проблеми існування і стійкості всіх згаданих вище об'єктів. Почнемо із проблеми існування соціуму й закінчимо проблемою зникнення Всесвіту. Наступними проблемами, яким ми приділимо увагу, будуть проблеми всього людства. Це проблеми вже набагато більшого масштабу, вони небезпечні для всіх соціумів, що живуть на Землі. Після цього природно перейти до проблем життя або, точніше, всіх форм клітинного життя. Далі зупинимось на проблемах ще більш глобальних, таких як проблеми нашої Планети й Сонця. Ще більш складні проблеми будуть порушені в розділі Проблеми Галактики, закінчимо розглядом проблеми зникнення Всесвіту. Необхідно підкреслити, що кожна з цих проблем насправді складається з безлічі проблем і загроз. У цьому сенсі можна говорити про комплекс проблем, пов'язаних з існуванням відповідного об'єкта.

Усі ці проблеми пов'язані в єдине ціле одним безсумнівним фактом — їх розв'язання, або подолання можливе тільки з допомогою Науки, яку розбудовує Людство. Тому тільки Людство здатне на подолання глобальних проблем Всесвіту. Слід відразу зазначити, що в цьому й полягає головний зміст книги. Ми

впевнені, що тільки наука може врятувати всі ці об'єкти від неминучого знищення. Наука — це неминуча доля Нас, тих хто живуть на Землі. Можливо, це і є головна роль Людства.

**Тільки наука може врятувати Всесвіт, Землю,
Нас від неминучого знищення. Можливо, в цьому
і полягає роль Людства.**

У наступних розділах книги ми будемо намагатися переконати в цьому читачів.

2.1. Проблеми Соціуму

У соціуму виникали проблеми в минулому і будуть виникати безліч проблем у майбутньому. Початкова і найдавніша проблема пов'язана, власне, з його виникненням. Тому повинні були з'явитися вагомі причини для його створення й стійкості. Однією з таких причин, безсумнівно, був «тиск» навколишнього середовища. У суворому навколишньому світі нашим слабким предкам важко було вижити самотійно. Створення соціуму і стало однією з відповідей на цей виклик, знайденою приматами.

Наступна одвічна проблема соціуму — це перманентний пошук джерел їжі. Цю проблему збільшували професійні хижаки, для яких наші найдавніші предки самі були їжею. Частково такої загрози вдалося уникнути, коли була винайдена кам'яна зброя і була досягнута достатня досконалість у стратегії полювання.

Проблеми зі зміною клімату, льодовиковий період створили вже пряму загрозу існуванню людини. Відповідь на це була знайдена у будівництві жител, винаходом того, що можна назвати одягом, і, звичайно, у використанні вогню. Відкриття згодом сільського господарства привело до зміни структури харчування і, отже, додаткової стійкості соціуму.

Пізніше, зі збільшенням числа вироблених товарів, виникла складна проблема товарообміну. Пошук шляху оптимального обміну, коли число можливих шляхів росте експоненціально від числа учасників товарообміну, є, навіть за сучасними мірками, надскладним завданням. Для його вирішення були винайдені гроші. Поліпшення умов, що виникло в результаті вдосконалення товарно-грошових відносин соціуму призвело до зростання чисельності Людства і знову зробило актуальною проблему голоду. Як правильно збагнув Мальтус, експоненціальне зростання чисельності населення і всього лише лінійне зростання виробництва продуктів харчування згодом повинно



Рис. 2.1. Картина «Пекло» Ієроніма Босха, що входить у триптих «Сад земних насолод». Створена в 1500–1510 роках і зараз знаходиться в музеї Прадо в Мадриді.

було привести до голоду. Цієї проблеми вдалося уникнути за рахунок наукових досягнень у розвитку нових технологій виробництва продуктів харчування. До речі, не варто думати, що проблема голоду повністю переможена зараз. Так, за даними ООН, наведеними у звіті «Ситуація із продовольчою безпекою й харчуванням у світі в 2018 році», у світі голодує приблизно 821 млн людей. Це означає, що голодує приблизно кожна дев'ята людина! Масштаби голоду і недоїдання найбільші в країнах Азії (515 млн), потім Африки (256 млн) і, нарешті, Латинської Америки (39 млн).

Проблема пандемій — вічна проблема. Загрози війн та інших соціальних потрясінь і стресів продовжують зберігатися й досі.

Навіть спроба реалізації ідеалістичного проекту — створення райського життя у соціумі і стабілізація його, як не дивно, є далеко не безпечними. Це випливає з експериментів, проведених над мишами. Вони почалися, коли Джон Келхун (1917–1995), американський етолог¹, зайнявся експериментальним створенням «раю для мишей». Для цього він використовував контейнер 2.57 на 2.57 метри і висотою 1.37 м.

Спроба реалізації утопічного проекту — створення раю на Землі, як не дивно, виявилася далеко не безпечною.

Об'єм контейнера був заповнений найнеобхіднішим для мишей. У ньому були побудовані тунелі, зручні «кімнати», установлені поїлки та годівниці. У цьому мишачому всесвіті підтримувалася комфортна температура 21–32°C. В 1972 році в побудований всесвіт запустили 8 (4 самця й 4 самки) абсолютно здорових мишей. Келхун назвав цей всесвіт «Всесвіт-25»², і раз на тиждень цей всесвіт наповнювався кормом і будівельним матеріалом для гнізд, зрозуміло, після попереднього очищення. Чищення було дуже ретельним і вживалися заходи безпеки проти виникнення інфекцій і хвороб. Хижаки також не допускалися в цей всесвіт. У мишей почався «золотий вік». Перша стадія соціуму А — освоєння. З появою перших мишенят почалася стадія В. На цій стадії, як неважко здогадатися, чисельність зростала експоненційно. Так, через кожні 55 днів число мишей подвоювалося. Їжі та матеріалів, як і раніше, вистачало. Після 315 днів

¹Етологія (від грецьких *ηθος* — звичаї, характер, звичка, звичай і *λογος* — наука) — розділ зоології з вивчення генетично обумовленої поведінки тварин, включаючи людей.

²Це був уже 25 експеримент «райського» життя. Всі вони закінчувалися однаково.

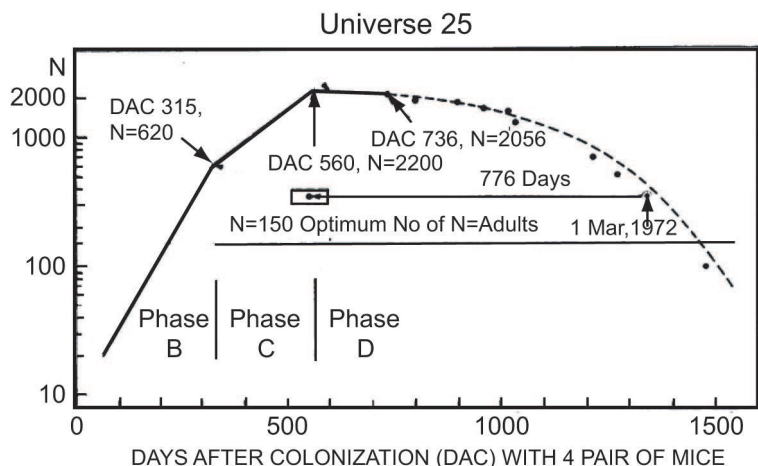


Рис. 2.2. Зміна чисельності мишей з часом у Всесвіті-25. Ма-
люнок зі статті Джона Келхуна «Смерть у квадраті: Вибу-
хове зростання і загибель популяції мишей».

у «всесвіті» жило 620 мишей! Виникла проблема скупченості. Слід особливо підкреслити, що укриттів для проживання було достатньо для 3840 мишей, харчування вистачало б і на 9500, а води — на 6144 мишей. До такої кількості чисельність ніколи не доростала. Починаючи зі стадії В, зростання чисельності сповільнилося, а подвоєння чисельності вимагало вже 145 днів, почалася стадія С (див. Рис.2.2).

Мишачий соціум став кардинально трансформуватися. У соціумі почали виникати касты. Одну з них утворювали «знедолені», які були витиснуті в центр всесвіту, де були відсутні гнізда. Ця каста складалась в основному з молодих мишей, які не змогли вмонтуватися в соціум. Відрізнити їх можна було по наявності всіляких ушкоджень і травм. Самці цієї касты ставали то пасивними, то занадто агресивними, нападаючи на будь-яких мишей. Самки стали менш захищеними, а «знедолені» були

готові виконувати будь-які соціальні ролі. Однак вони робили регулярні набіги на власників гнізд. Самки, яких не захищали самці, самі стали проявляти агресивність, захищаючи свою територію та навіть знищуючи своїх дитинчат. Народжуваність значно зменшилася, смертність молодняка зросла.

Почалася стадія D — смерті соціуму. Виникла нова каста, яку Келхун назвав «прекрасні» самці. Вони втратили інтерес до розмноження і займалися винятково собою. У соціумі тріумфувало насильство, неприборкані оргії з вільними публічними сексуальними відносинами та канібалізм. Нарешті 90% самок репродуктивного віку втекли із соціуму і зайняли гнізда у верхній частині бака. Після 560 днів чисельність мишей досягла максимуму — 2200 особин. З мишачим соціумом було покінчено. Народжуваність різко зменшувалася, а нечасті пологи супроводжувалися вбивством мишенят. Однак наступне зменшення чисельності не привело до повернення раю. Навіть останні з мишей, що залишилися, не намагалися повернутися до «нормального» життя і завести потомство. Ці останні миші вмерли одна за одною. Всесвіт спорожнів...

Зауважимо, що це відбулося за наявності величезних ресурсів харчування, води і життєвого простору. Таким чином, консервація навіть ідеальних умов мишачого соціуму призвела до його знищення. Зрозуміло, соціум мишей далекий від людського соціуму, а перенос результатів експерименту над мишами на людський соціум виглядає мало обґрунтованим, проте змушує задуматися. Насправді спроби консервації або стабілізації досягнень суспільства на тлі припинення розвитку спостерігалися безліч разів і в історії людства. Такі спроби закінчувалися сумно.

І вже точно спроба консервації досягнень соціуму та спроба збереження його постійного стану за умови придушення науки веде до загибелі. Історичні приклади таких соціумів добре відомі. Обмежимося згадуванням тільки одного характерного



Рис. 2.3. *Афіна Паллада — богиня мудрості, військової стратегії і покровителька ремесел.*

історичного прикладу. Для цього досить згадати Афіни і Спарту — два грецькі міста-держави.

В Афінах, названих на честь богині мудрості, культивувався вільний дух творчості. Політичним ладом Афін була демократія. Тут була відкрита конструктивна роль критики. В Афінах можна було критикувати навіть богів. Видатні наукові досягнення стали згодом зразком для європейської науки. Із цим містом пов'язані такі відомі імена, як Сократ, Платон, Арістотель. Величезних успіхів Афіни досягли і в мистецтві, наприклад, у драматургії. Усім відомі імена Есхіла, Софокла і Евріпіда. Інакше кажучи, стратегією Афін був безперервний розвиток.

Спарта дотримувалась політичного порядку, типового для періоду розпаду племінного ладу. Спартою правили завжди два царі із двох династій: Агіадів і Евріпонтідів. Під час війни один цар виступав з армією, другий залишався керувати державою. У Спарті не схвалювали і не підтримували розвиток науки і мистецтва. Виключення становило «мистецтво» ведення війни,

спорт і в музиці — марші. Інакше кажучи, стратегія Спарти полягала в збереженні стабільності.

Зрозуміло, що дві такі протилежні стратегії не могли співіснувати довго. Відомо, що науковий прогрес веде до більших успіхів держави і, відповідно, загострює протиріччя з іншими державами. Сьогодні подібне явище відоме як технологічні, торговельні війни, не кажучи вже про війни в буквальному сенсі. І Спарта напала на Афіни, почавши (431–404 до н.е.) Пелопоннеську війну. Спочатку успіх був на боці Спарти — і Афіни були розгромлені. В Афінах була встановлена олігархічна влада «Тридцяти тиранів», ставлеників Спарти. Але досить швидко в Афінах була відновлена демократія. Більшість з тридцяти були вбиті протягом року після цього. Місце ослаблених Афін у боротьбі зі Спартою перейшло до Фів¹ і Корінфу². В подальшому у битві під Левктрах в 371 році до н.е. спартанська армія була не просто переможена, а повністю знищена. Наступні події привели до того, що Спарта перетворилася на другосортну державу грецького світу — тінь колишньої держави. Спарта залишила після себе зовсім незначні досягнення, у той час як Афіни вижили, а їхні досягнення продовжують дивувати світ. Проте науковий дух цієї держави був знищений, і Афіни вже не змогли відновити його. Лідерство перейшло до інших держав, а прогрес був сильно уповільнений.

Це демонструє нам наскільки важлива і, одночасно, вразлива Наука. Багато хто може подумати: ну то й що, нас це не стосується, нехай це турбує греків. Той, хто так думає, помиляється. Ми за це вже покарані. Так, якби прогрес тривав такими ж темпами, як у Афінах, то швидше за все, ми вже подорожували б до інших планет, а окрім цього, були б практично безсмертними. Таких досягнень нам доведеться чекати ще довго, а багато хто їх і не дочекається. Таку ціну завжди

¹Місто Фіви — столиця Беотії.

²Корінф — давньогрецьке місто.

платять нащадки за божевілья своїх предків. Рятую одне — «пізнання є незворотнім, і немає повернення в сутінок блаженного незнання», як відзначив видатний мислитель і письменник Станіслав Лем (1921–2006).

Повертаючись до проблем соціуму, слід зауважити, що безліч проблем ще чекає нас в майбутньому. Власне, щоб їх зрозуміти і виділити, слід уточнити, що втримує спільноти. Що відіграє роль соціального «клею» в створенні своєрідного «багатоклітинного» організму.

Для того щоб це зрозуміти, почнемо з визначення: «соціум — група людей, що мають спільні інтереси, цінності і мету». Зрозуміло, таке визначення досить умовне і знайдеться велика кількість людей, яка буде це заперечувати, визнавати невірним, примітивним і навіть глибоко помилковим. Якщо глянути на суспільство з фізичної точки зору, то потрібно визнати його колективом взаємодіючих об'єктів. Закони взаємодії визначаються спільнотою і, в принципі, можуть змінюватися. Характер цих взаємодій дуже складний. Існує, як сказали б фізики, багато різних сил, або полів взаємодії. Наприклад, між елементами спільноти існує поле взаємодій, пов'язане із традиціями або історією цієї спільноти. Безумовно, ще одне поле взаємодій можна назвати культурним. Зрозуміло, присутнє і поле матеріальних благ, що відіграє важливу роль у взаємодії.

Вивчення складності — один з найважливіших напрямків сучасної науки.

Проблема ускладнюється ще й тим, що на різних рівнях огрублення масштабів виникають нові колективні поля. До таких полів належить своєрідне колективне поле держави — надструктури над спільнотою, це поле прагне також зберігати спільноту. Слід зазначити, що існують і інші колективні поля

на різних рівнях огрублення масштабів спільноти. Наприклад, взаємодія родин — це інший тип взаємодії, ніж індивідуумів. Найбільш великомасштабне огрублення відповідає державному полю. Відповідно, виділення типів полів означає, що спільнота повинна бути стійкою по всіх типах взаємодій. Порушення стійкості по будь-якому типу взаємодії вже створює загрозу її існуванню. Вивчення таких складних систем тільки починається. Зазначимо, що саме поняття складності є не тривіальним і зараз приваблює багатьох дослідників із зовсім різних галузей науки.

Зрозуміло, що опис настільки складних систем має спиратися на найбільш загальні уявлення. У якості таких можна використовувати уявлення про відкритість таких систем. Мається на увазі, що суспільство піддається впливу навколишнього «середовища» та само впливає на нього.

Ще одне природне припущення — це нелінійність такої системи. Такі складні системи не можуть бути лінійними системами, поведінка яких занадто проста і, вочевидь, не підходить до опису соціумів.

Ці два припущення мають глибокі наслідки. Така відкритість системи говорить про її нерівноважність і наявність дисипативних процесів. У свою чергу це означає наявність потоків, які можна назвати інформаційними, і, відповідно, як наслідок, сильну нерівноважність системи.

Нелінійність і дисипативність, згідно з сучасними уявленнями, майже завжди приводять до виникнення нових типів стаціонарних режимів рухів у таких системах. Це чудове відкриття! Нагадаємо, що добре відомі типи динамічних стаціонарних режимів — це сталі режими, періодичні режими і менш популярні двоперіодичні режими. У XX столітті були відкриті нові типи стаціонарних режимів — дивні атрактори (див. Рис. 2.4). Назва походить від англійського *attract* — притягати, а дивний — відображає наявність деяких незвичайних властивостей (див. Рис. 2.4 і підпис до рисунка). За наявності дивного атрактора,

з яких би початкових умов ми не починали, через якийсь час система притягнеться до атрактора і увійде в певний стаціонарний режим руху.

Виявилось, що для таких режимів характерна хаотична поведінка. Дивно те, що в рівняннях руху відсутні випадкові параметри й випадкові впливи! Інакше кажучи, виникає детермінований хаос — нова парадигма динамічної поведінки. У переважній більшості випадків для нелінійних дисипативних систем трьох і більше рівнянь — атрактори присутні завжди. Більш того, в системі може бути присутнім цілий спектр атракторів. У цьому випадку кожний атрактор має свій так званий басейн притягання. При цьому кількість можливих стаціонарних режимів визначається типом нелінійності та характером дисипації. Із концепції атракторів можна зрозуміти, що хаос має свою внутрішню тонку організацію.

Повернемося тепер до соціуму, поглянувши на нього як на складну нелінійну та дисипативну систему. Виходячи з таких поглядів, для систем, що описують соціум у загальному випадку, слід очікувати наявності спектра атракторів і типової хаотичної поведінки. При зміні умов можуть виникати переходи до інших хаотичних режимів або до більш простих атракторів. Наприклад, до періодичних режимів, пов'язаних з наявністю у фазовому просторі циклів.¹ В останньому випадку можуть виникати й упорядковані структури або впорядкована поведінка системи. При цьому цікаво зазначити, що реалізація таких стаціонарних хаотичних станів у суспільстві автоматично приводить до обмежень можливості передбачення майбутнього таких систем. Виникає своєрідний обрій, за яким майбутні події непередбачувані. Далеке майбутнє нам взагалі недоступне. З іншого боку, цікаво відзначити, що з цього погляду хаос носить позитивний характер, стимулюючи перебір варіантів

¹Цикл від грецького *κυκλος* — коло. Це замкнута крива, до якої притягуються траєкторії з деякої області фазового простору.

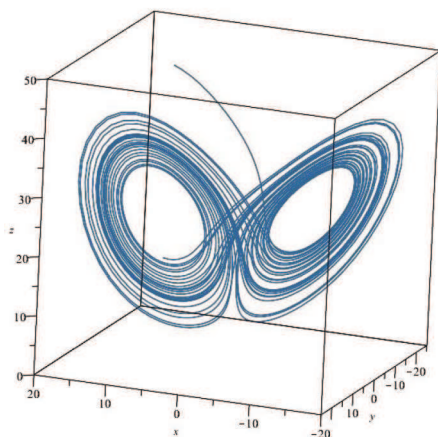


Рис. 2.4. Дивний атрактор Лоренца. Траєкторія обертається навколо одного «крила метелика», а потім випадковим чином переходить до обертання навколо іншого «крила». Атрактор Лоренца дивний — його розмірність дробова. Це фрактальний об'єкт.

еволюцією. Таким чином, виходячи з найбільш загальної точки зору, хаос і є тим «клеєм», що втримує соціум, щоправда він же може приводити і до його руйнування. Описаний нами погляд на соціум можна назвати синергетичним.

Далеке майбутнє соціуму нам недоступне.

Ще один погляд на соціум можна запозичити з кібернетики, де зародилася уява про складні адаптивні системи. Складна адаптивна система — це агент або сукупність агентів, що діють спільно, при цьому досить розумних, щоб адаптуватися до навколишнього середовища, коли воно змінюється. Зрозуміло, це

досить широкий клас систем, до якого належить безліч «живих» систем.

Коротко опишемо складну адаптивну систему. Насамперед її визначають 7 характеристик: чотири властивості і три механізми поведінки.

Першою властивістю є здатність до агрегування. Це означає здатність елементарних об'єктів поєднуватися в більші об'єкти наступного рівня, які також здатні до об'єднання.

У якості другої властивості виступає нелінійність.

Третя властивість — наявність потоків між об'єктами будь-якого рівня.

Четверта властивість — це різноманітність елементів адаптивної системи.

До механізмів належить насамперед присвоєння міток — це не тільки визначає ідентифікацію об'єктів, але й спрощує процес агрегування. Мітки дозволяють об'єктам, або як прийнято говорити в кібернетиці, агентам, вибірково взаємодіяти. Інакше кажучи, вони спрощують організацію агентів і комунікацію між ними.

Наступним механізмом є створення моделей навколишнього середовища для передбачення майбутнього — знання, необхідне для успішної адаптації. Такі моделі використовують інформаційні потоки.

Особливо небезпечні суспільства з низьким рівнем культури і науки.

Нарешті, необхідний механізм побудови внутрішніх моделей поведінки системи, ґрунтуючись на наборі прецедентів, що сталися у минулому. При цьому внутрішні моделі використовують будівельні блоки, на які можна розкласти будь-який сценарій, середовище або систему. Будівельні блоки сполучаються для

створення неявних внутрішніх моделей і еволюціонують за звичайними правилами.

Загалом синергетичний і кібернетичний типи опису соціуму мають загальні риси, але відрізняються ступенем деталізації. У синергетичному підході соціум виступає як якесь середовище, у кібернетичному — як багатоагентна система. Однак спроби використовувати їх для передбачення еволюції спільнот зустрічаються із проблемою величезних обчислювальних ресурсів. Реалістичність у таких дослідженнях ще недоступна. Проте, деякі загальні закономірності можна встановити вже сьогодні.

Так можуть стати не вигідними соціальні переваги входження в соціум. Це приведе до зменшення чисельності соціуму, і в першу чергу до зникнення з соціуму тих, хто розвиває науку і мистецтво. Особливо небезпечні суспільства з низьким рівнем культури і науки.

«Там де тріумфує сірість, до влади завжди приходять чорні»¹.

У таких соціумах відсутність освіти і низька культура призводить до різкого зниження критичного мислення, в результаті науку витісняє псевдонаука, медицину — псевдомедицина, суспільство стає сприйнятливим до безглузвих і небезпечних політичних поглядів і форм правління. Звісно, різко зменшується тривалість життя, значно зростає частота різних епідемій.

Зрозуміло, такі соціуми створюють велику загрозу і для інших, більш благополучних суспільств. Для того щоб у цьому переконатися, досить згадати, що всі розвинені цивілізації були зруйновані варварами, іншими словами, соціумами з найбільш низькою культурою і моральними обмеженнями.

¹Цитата з науково-фантастичної повісті братів Стругацьких «Важко бути богом».



Рис. 2.5. Картина японського художника І Інно «Юрба», 1986 р.

Можуть стати недостатніми і матеріальні переваги соціуму, що загрожує соціальними потрясіннями, революціями, які призводять до різких змін у соціумі.

Культурні зміни можуть вступити в протиріччя з генетичною еволюцією, що загрожує зникненням соціуму.

Інакше кажучи, існують базисні елементи, властиві кожному соціуму, від яких кардинально залежить його еволюція, характер, майбутнє — це наука, культура, матеріальні блага, соціальні закони. Послідовність і пріоритети цих соціальних елементів, що скріплюють, можуть бути різними у різних спільнотах, але важливо, що всі ці елементи винятково необхідні для соціуму!

Слід підкреслити, що стабільність соціуму не може бути досягнута за рахунок сталості й незмінності. Можна знову згадати тут експерименти Келхуна й безліч історичних прикладів. Єдиний шлях стабільності соціуму полягає в безперервних соціальних змінах, які повинні здійснюватися в строго визначені

певні моменти. Ясно, що без розуміння, і отже, застосування науки, соціум не тільки не знає про їхню необхідність, але й не здогадується, які зміни необхідно вносити для підтримки своєї стабільності.

Ми перебуваємо на порозі демографічного вибуху.

Перейдемо тепер до опису проблем, з якими неминуче зіштовхнеться соціум. Почнемо зі старої глобальної проблеми людства. Може здатися, що проблема голоду, піднята Мальтусом, уже не повинна хвилювати соціум. Однак, як виявилось, це не так.

До розгляду цієї проблеми повернувся Хейнц фон Ферстер, аналізуючи статистичні дані про чисельність людства, починаючи з Різдва Христового. Він установив експериментальну залежність чисельності людства від часу (див. Рис.2.6).

Цей закон відрізняється від запропонованого Мальтусом. Виявилось, що ріст чисельності населення Землі описується гіперболічним законом. Стаття фон Ферстера, опублікована в престижному журналі Science в 1960 році, мала назву, що інтригує, «Судний день. П'ятниця 13 листопада 2026 року». Ці експериментальні дані добре апроксимуються такою залежністю:

$$N(t) = \frac{108}{1 - t/t_f} \quad (2.1)$$

Тут $N(t)$ — населення світу станом на рік t , млн людей; $t_f \approx 2026$ рік.

Згідно із цим законом катастрофічне збільшення чисельності відбувається в наш час. Подібна поведінка спостерігається в дисипативних системах і називається режимом із загостренням.

Гіперболічний закон легко одержати, якщо припустити, що швидкість зростання населення пропорційна можливому числу

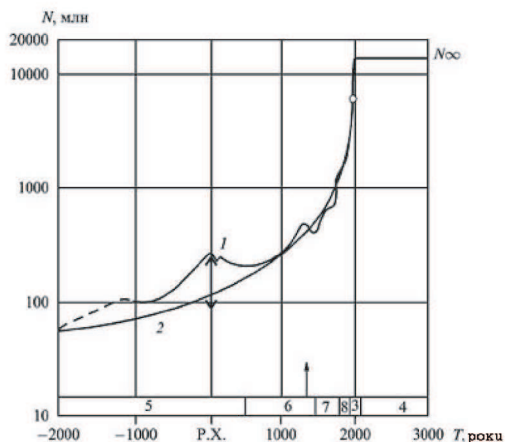


Рис. 2.6. Зміна чисельності населення Землі з часом. 1 — чисельність населення згідно з оціночними і експериментальними даними. 2 — теоретична крива, що відповідає (2.1). Періоди: 5 — прадавній світ, 6 — середні віки, 7 — нова й 8 — новітня історія. Вертикальна стрілка відповідає часу епідемії чуми — «Чорної смерті». Білий кружечок на кривій позначає теперішній час. Малюнок узятий з роботи фон Ферстера.

пар у спільноті, що цілком розумно й дає рівняння зростання $\dot{N} = \alpha N^2$. Тоді точний розв'язок цього рівняння збігається із законом (2.1).

Найголовніше, що наука виявила цю проблему, і ми можемо підготуватися до її розв'язання.

Одного цього закону, установленого за статистичним даними, досить для розуміння глобальної демографічної проблеми. Легко помітити, що в момент часу $t = t_f$ формально цей закон

прогнозує нескінченну чисельність населення Землі. Чим не кінець Світу?

Зрозуміло, не слід очікувати, що чисельність стане нескінченною, величезні проблеми почнуться набагато раніше, і їх ми будемо змушені вирішувати. Найголовніше, що наука виявила цю проблему, і можна підготуватися до її розв'язання. За умови, якщо в соціумі є час, потенціал і ресурси для її розв'язання. У деяких соціумів з низьким розвитком науки такого потенціалу немає, і для них проблема може стати нерозв'язною. Ще одна небезпека полягає в тому, що деякі спільноти просто не стануть вирішувати цю проблему, навіть якщо вона їм стане відома. Приклади такої поведінки окремих країн теж добре відомі. Досить згадати недавні приклади — лісові пожежі в Сибіру.

Небезпечна не просто відсутність Науки, а величезну небезпеку становить навіть зниження темпів її розвитку.

Це говорить нам про те, що небезпечна не просто відсутність Науки, а величезну небезпеку становить навіть зниження її темпів розвитку. Причина в тому, що час із моменту виявлення проблеми до її реалізації і становить час, відпущений на розв'язання. Чим раніше виявлена проблема, тим більше часу на її вирішення.

При недостатньо розвинутій науці в спільноті проблема буде виявлена занадто пізно й часу, що залишився, може просто не вистачити для запобігання катастрофи. Такий соціум увійде в катастрофу. Надії деяких членів соціуму, що їм вдасться перекласти катастрофу у більш благополучних соціумах, ілюзорні. Тут слід нагадати про домінанту кам'яного віку. Чужинці й емігранти навіть у благополучних співтовариствах не вітаються, а тим більше в кризові моменти. Пам'ятаєте, ми говорили про

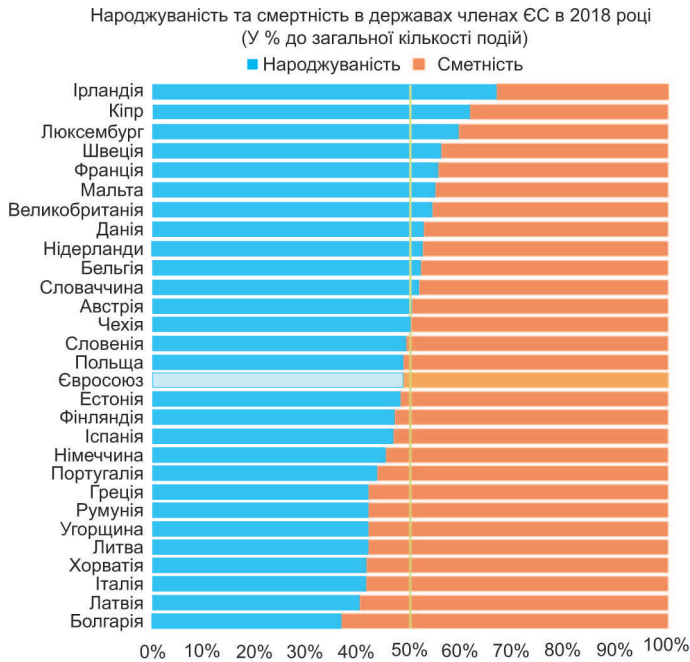


Рис. 2.7. Населення ЄС досягло 513 млн в 2019 році. Ми бачимо тільки невелике число країн, де народжуваність перевищує смертність. Цікаво, за рахунок яких груп населення досягається таке перевищення?

переміщення наших предків з Африки? Тоді не менше шести видів людей співіснувало на просторах Землі, але залишився один вид.

Повернемось до розгляду зростання чисельності населення. Можна чекати вже зараз в деяких регіонах земної кулі зменшення народжуваності (див. Рис.2.7). Тут доречно згадати про експерименти Калхуна й закономірності росту чисельності в них. Тоді очікуваною стає й інша проблема, пов'язана з можливою втратою моралі соціуму і наступним зниженням

чисельності людей. Такий прогноз виглядає природним, якщо, зрозуміло, не почати вживати попередніх заходів. Доречно згадати прогноз Організації Об'єднаних Націй стосовно чисельності населення Землі на наступні 30 років. По-перше, до 2050 року населення Землі збільшиться на 2.5 млрд людей. Таке збільшення відбудеться за рахунок найбільш розвинутих країн, США та країн Європи продовжить зменшуватись. Індія за чисельністю населення випередить Китай і посяде перше місце у світі. Зрозуміло, що це призведе до виникнення додаткових проблем у боротьбі з бідністю. Окрім цього, до 2050 року кожна шоста людина буде старшою за 65 років. Це досить тривожне передбачення.

Перейдемо тепер до проблеми «соціальної справедливості». Цю категорію як ціль сприймає переважна більшість. Забезпечити це покликані демократичні системи управління, прийняті в більшості країн світу.

Чего кипятитесь?

Обещали и делим поровну:

одному — бублик, другому — дырка от бублика.

Это и есть демократическая республика.

Владимир Маяковский «Мистерия-буфф»

Чого гарячкуєте?

Обіцяли — і ділимо порівну:

одному — бублик, другому — дірка від бублика.

Це і є демократична республіка.

Володимир Маяковський. Переклад Ганни Яновської

Але як за допомогою демократії або правил голосування домогтися справедливого розв'язання соціальних питань? Над цією проблемою задумався французький академік Жан-Шарль де Борда в 1770 році. Власне, з його роботи почала розбудовуватися наука про прийняття рішень. Ясно, що в суспільствах, де



Рис. 2.8. *Правила голосування важливі не тільки для товариств людей, а й для багатьох живих організмів, як інструмент прийняття колективних рішень. Так, у будь-якому багатоклітинному організмі дія окремих клітин мала би підпорядковуватися спільній меті, а рішення мають прийматися на благо всього організму.*

спостерігається сильне відхилення від справедливого розподілу соціальних ресурсів, виникає спочатку напруга й нестабільність, а потім і руйнування відповідного соціуму. Історичних прикладів такого явища досить багато і вони добре відомі. Наприклад, падіння імперій.

Та виявляється, що цю проблему неможливо розв'язати формально. Це дає нам ще одну глибоку проблему: чи всі проблеми можна вирішити? Її обговорення відкладемо на деякий час.

Повертаючись до проблеми правил голосування, яка, як ми вже відзначали, є фундаментом демократичних систем, нагадаємо теорему Ерроу. Американський економіст Кеннет Ерроу (1921–2017) розпочав атаку на проблему раціонального узгодження індивідуальних інтересів. Він вирішив знайти деяке правило або спосіб вибору одного колективного рішення із багатьох альтернативних або, інакше кажучи, визначити процедуру виявлення волі народу і взагалі будь-якої спільноти, справедливої і вільної від маніпуляцій. Це в першу чергу стосується системи виборів. Нехай число кандидатів кінцеве й більше двох.

Випадок двох кандидатів занадто простий і далекий від реальності, у цьому випадку рішення можна знайти просто. Насамперед Ерроу обміркував, як мають виглядати умови справедливості, і в якості таких запропонував дуже прості й загальні умови. Ці умови зводились до п'яти простих обмежень на допустимі правила голосування.

- Універсальність. Виборці можуть розташувати прізвища кандидатів у будь-якому порядку.
- Транзитивність. Результат обробки голосів — упорядкований список колективної переваги.
- Одноголосність. Якщо всі віддадуть перевагу кандидату A над кандидатом B , то в підсумковому списку колективної переваги цей порядок повинен зберігатися.
- Незалежність. Підсумкова перевага для пари кандидатів A, B залежить тільки від переваг виборців для пари A, B .
- Відсутність диктатора.

Після цього він довів чудову теорему.

Теорема Ерроу: неможливий колективний вибір, що задовольняє наведеним вище умовам.

За цей видатний результат Кеннет Ерроу одержав Нобелівську премію з економіки 1972 року. Зміст цієї теореми в тому, що для будь-яких правил виборів завжди існує можливість маніпуляції результатом вибору. Зрозуміло, під маніпуляцією тут розуміють не незаконний підкуп виборців, шахрайство з голосами, фальсифікацію списків і результатів голосування чи інші карні дії. Усе значно складніше. Виявляється, можливе маніпулювання в законному сенсі без порушення правил і результатів голосування. Досить відомим прикладом такої маніпуляції може служити зміна кількості кандидатів. Так введення фіктивних

кандидатів, що не мають метою перемогу на виборах, може вплинути на результат. Існують і інші можливості.

Проблему «соціальної справедливості» можна вирішити лише за рахунок поліпшення моралі соціуму, і тільки це може привести до справедливого вибору колективного рішення, а не вдосконалення правил голосування.

Перший достовірний приклад маніпуляції описав Пліній молодший ще в II столітті нашої ери у своєму листі Арістону. Він сам реалізовував його в Римському Сенаті, в якому був головою. Справа полягала в тому, що консул Афраній Декстр був знайдений убитим. Невідомо було, чи він наклав на себе руки, чи за власним наказом був убитий слугами. Як пише Пліній, виникло три думки: виправдати, заслати й стратити слуг. Пліній запропонував рахувати голоси за кожну думку строго окремо, підрахувавши, що в такому випадку більшість буде за виправдання. Інакше кажучи, не допустити двоетапного голосування: за «страту або заслання» і «звільнення» спочатку, а потім — вибір між стратою й засланням. У цьому випадку більшість підтримала б спочатку «страту або заслання», а потім перемогли б прихильники страти. Підрахунок голосів окремо приводив до виправдання слуг. Однак, як пише Пліній, виявилася можливою маніпуляція і тими, хто голосував.

«Той, хто наполягав на застосуванні страти, поступаючись чи то закону, чи то справедливості моєї вимоги, відмовився від своєї думки і перейшов до прихильників заслання: він, безсумнівно, злякався, що якщо голоси стануть рахувати окремо, як це, здавалося, і буде, то чисельно перевищать голоси прихильників виправдання. Останніх було набагато більше, ніж прихильників двох інших рішень. Тоді ті, кого він перетягнув до

Є ще одна загальна небезпека для соціуму, пов'язана з попередньою. Це нецтво людства. Макс Тегмарк, професор фізики в Массачусетському технологічному інституті, вважає, що людська дурість — найбільша проблема всього людства, а штучний інтелект — його найбільша потенційна небезпека. Популізм політиків, релігія, пропаганда найбезглуздіших переконань і багато інших шкідливих явищ пов'язані саме з нею. Тому освіта членів соціуму є одним із найважливіших його завдань.

Існує думка, що для суспільства досить малої кількості освічених членів. Іншим освіта не потрібна та навіть шкідлива з точки зору керування цими членами суспільства. Часто таку думку приписують Л. Н. Толстому: «Неосвіченими людьми управляти легше». Але насправді це тільки частина цитати В. А. Жуковського: «Неосвіченими людьми управляти легше, але ще легше перетворити їх на найбільш озвірілих заколотників». Як завжди, спроба скоротити цитату приводить до повної зміни її змісту. Думка про достатність малої кількості освічених членів — абсолютно помилкова точка зору і породжує найбільш темні й жахливі сторони соціуму.

Die Wissenschaft, stets unser Wissen mehrend
Welches dann wieder unser Elend mehrt
Verehere man wie die Religion, die unsere
Unwissenheit vermehrt, und die man auch verehrt.
Bertolt Brecht «Ballade von der Billigung der Welt»

Науку, що громадить нам уперто,
Знання, а з ними — шанси на біду,
Як віру — почитатиму до смерті,
Одвічним нецтвом покріплюючи дух.
Бертольд Брехт Переклад Леоніда Череватенка

Відсутність культури, невігластво членів соціуму — це величезний недолік для соціуму. В ідеалі всі члени суспільства мають

бути високоосвіченими. Таке суспільство здатне до швидкого розвитку, створення або освоєння найвищих технологій, готове до впровадження нових досягнень науки і толерантне.

Освіта суспільства будь-якої країни — це одна з найважливіших її задач. Зневага до освіти становить величезну небезпеку для суспільства. Слід зазначити, що досить часто цитати про занепад освіченості молоді розглядаються як необґрунтоване нарікання на зміну способу життя. Таку цитату можна знайти навіть в одному із найпрадавніших текстів шумерів. У них йдеться про неуктство молоді у порівнянні з батьками. Цьому тексту понад 4000 років. Аналогічні висловлювання можна знайти й у стародавніх греків. Так, Платон пише у своїй книзі¹: «Друже мій Клінію, я й сам був здивований, що так пізно довідався про той стан, у якому всі ми перебуваємо. Мені здалося, що це властиво не людині, але скоріше якимось свиням. І я засоромився не тільки за самого себе, але й за всіх еллінів». Подібні цитати зазвичай наводяться як оми «старих» людей. Варто відзначити дві обставини. По-перше, «старий» — це за мірками того часу. У стародавні часи до початку розвитку сільського господарства середня тривалість життя чоловіка була близько 20–30 років. Пізня античність і Середньовіччя довели середню тривалість життя до 40 років, і тільки 1915 року вона досягла 50 років! А по-друге, і це найголовніше, все-таки ці цивілізації зникли!!! Шумери — як народ, а греки, хоча й збереглися, але культурну першість втратили повністю і швидше за все, назавжди. Звісно, про небезпеку браку освіти і знань було відомо давно. Так, англієць Томас Еді попереджав ще в 1656 році у книзі «Свіча в темряві»: «Неуктство згубить народи». Це застереження залишається актуальним і сьогодні.

В епоху Просвітництва це питання було предметом суперечки між Вольтером і Руссо: перший пропонував знання як панацею

¹Платон. Законы. Собрание сочинений т. 4, Под общ. ред. А. Ф. Лосева, В. Ф. Асмуса, А. А. Тахо-Годи. — М.: Мысль. 1994, 832 с.



Рис. 2.10. Картина «Країна ледарів», створена Пітером Брейгелем в 1567 році, знаходиться в картинній галереї «Стара пінакотека» в Мюнхені.

від неуцтва, страху й забобонів, що ведуть до агресії й озлобленості, другий же відстоював образ «людини — дитя природи» — наділеної чистотою і добротою, «незіпсованої надлишковою інформацією» і далекої від пороків цивілізації. Руссо глибоко по-милявся.

Тим, хто має сумніви, досить з'їздити в такі місця Землі, де збереглась кам'яна епоха у чистому вигляді. Таких місць досить багато. Це й тропічні ліси Південної Америки, племена в Північній Америці, Андаманські острови, екваторіальні райони Африки і пустельні райони Австралії. Життя серед племені, наприклад, номоле швидко прояснить розуміння ситуації. Зрозуміло, за умови, що мандрівник зможе вижити після цього контакту. Представники племені номоле живуть у тропічних лісах Перу. Проблема становить відсутність у людей цього племені таких, у звичайному сенсі, простих понять, як добро і зло.

Представник цього племені не замислюючись уб'є людину, щоб заволодіти її навіть незначною, але бажаною річчю.

Багато хто може заперечити, що наявність освіти ще не означає порядність члена соціуму. Почасти це правильно, але серед освічених відсоток непорядних значно нижчий, ніж серед мало-освічених. Надійні статистичні дані про це, на жаль, мало доступні, і ми їх не приводимо. В Україні підприємці, наймаючи на роботу, завжди віддають перевагу людям з вищою освітою навіть на посади, які цього ніяк не потребують. Враховуючи безліч факторів, можна резюмувати, що в підсумку соціуму вигідно затрачати навіть величезні ресурси на освіту своїх членів.

Джеймс Медісон, четвертий президент США (1751–1836), говорив: «Знання завжди буде сильніше невігластва — і народ, який бажає сам керувати собою, повинен озброїтися тією силою, яку дає знання».

Ще одну величезну небезпечну проблему для соціуму становлять неправдиві знання. Неправдиві знання продукуються безліччю організацій. Їхня загроза непомітна й прихована, а тому, можливо, ще більш небезпечна. Як приклад можна згадати віру в лікування якимось нетрадиційним способом. На перший погляд все виглядає невинно — ну не допомогло, то й не допомогло. Тим більше, що в загрозливих випадках люди схильні хапатися за соломинку. Однак не все так просто. Припустимо, що ви схильні до такої нетрадиційної «медицини». Ви знаходите безліч цілителів, які, за чутками, вилікували безліч безнадійних пацієнтів. Ви витрачаєте свої фінанси, час і зрештою свої ресурси на такого цілителя. Переконавшись у марності його «методу», ви починаєте традиційне лікування, але час згаяний і ймовірно виліковне захворювання може за цей час стати невиліковним. Хто відповідь за це? Зрозуміло — не цілитель. Зазвичай нетрадиційне лікування полягає у виконанні безлічі безглузвих інструкцій і вимог. За відсутності результату цілитель завжди може послатися на невиконання вами якоїсь із безлічі умов. Провина легко перекладається на пацієнта. Існують

й інші способи впливу — навіювання, самонавіяння та низка більш екзотичних впливів. Можна згадати філіппінських хілерів, які нібито здійснюють операції, не використовуючи ніяких інструментів. Тільки руки. Місця операцій заліковуються миттєво. Здавалося б, неможливість цього очевидна будь-якій сучасній людині просто на підставі здорового глузду, й вона відразу повинна дійти висновку, що це шахрайство. Однак в інтернеті ви знайдете безліч прикладів «одужання» й навіть безглуздих підтверджень можливості цього. Наприклад, можна знайти псевдотеоретичні «обґрунтування» діяльності хілерів із залученням 4-вимірної простору.

Головна проблема в цих і схожих прикладах полягає в тому, як відрізнити помилкові знання від істинних. Наприклад можна сказати, що істинні знання важко одержати, на це потрібно затратити безліч зусиль. Спробуйте розібратися, чому небо синє, вам буде потрібно вивчити кілька розділів фізики, і тільки після цього ви зрозумієте, чому це так. Звісно, ви зрозумієте й безліч інших явищ як безкоштовний бонус до ваших зусиль. Інакше кажучи, істинні знання універсальні, й це пов'язано з метою науки, яка полягає не в передбаченні, а в поясненні! Передбачення — безкоштовний бонус до пояснення.

Помилкові знання легко одержати. Досить прочитати просте пояснення типу наявності 4-го виміру й кілька позитивних відгуків «очевидців». Можна помітити, що такі знання нічого іншого й не поясняють. Немає ніякого бонусу. Крім цього, помилкові знання легко варіюються. Наприклад, у знанні про хілерів ви можете замінити хілера на буддійського ченця або на шамана, волхва — і все буде так само переконливо, як і раніше.

Дійсні знання важко варіювати. У них усе настільки підігнане одне до одного, що зміна будь-якого елемента порушує істинність знання. Уся конструкція руйнується. Зрозуміло, не треба думати, що цього досить для ідентифікації помилкових знань. Звичайно, все значно складніше, й помилкові знання маскуються іноді дуже витончено, інакше всі помилкові знання

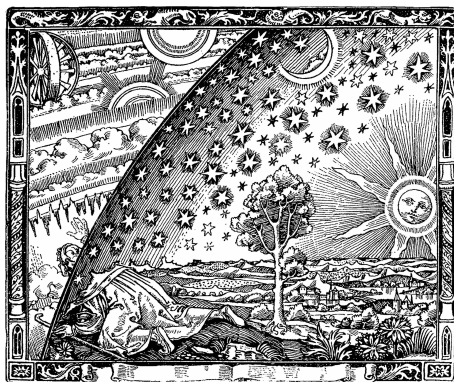


Рис. 2.11. Гравюра невідомого художника з книги Каміля Фламмаріона «Атмосфера: популярна метеорологія» (*L'atmosphère: météorologie populaire*), опублікована в 1888 році. Переклад підпису під гравюрою: «Середньовічний місіонер каже, що він знайшов точку, де зустрічаються небо і земля...»

вже б зникли давно. Головне, потрібно пам'ятати, що помилкові знання вкрай небезпечні.

Потрібно зазначити, що, говорячи про істинні знання, зовсім не мають на увазі таку собі абсолютність знань. Це просто знання, підтверджені безліччю способів і визнані правильними на нашому відрізку часу. У майбутньому вони можуть змінитися. Ага, ось отут деякі прихильники помилкових знань скажуть, що це те ж саме, що ми говорили про помилкові знання. Поспішаємо заперечити — істинні знання не зникають і не стають помилковими ніколи в майбутньому. Просто вони інакше вбудовуються в загальну картину світобудови. Так, спеціальна теорія відносності не відкидає звичайну класичну механіку, а просто стверджує, що вона добре працює при швидкостях, набагато менших за швидкість світла. При більших швидкостях потрібно врахувати ефекти спеціальної теорії відносності. Головне — правильна релятивістська картина Світу більш складна, ніж

Ньютонівський Світ. Тому можна сказати, що знання одержують еволюційним шляхом. Це можливо зрозуміти, якщо помітити, що по суті у теорії Дарвіна нема нічого суто біологічного. Центральна ідея наявності реплікаторів, які можуть потроху змінюватись, зовсім не апелює до живих організмів, вони є лише одним з можливих типів реплікантів. В якості іншого типу реплікантів ми можемо уявити ідеї або теорії, які чули від когось, або, що особливо приємно, породили самі. Такі ідеї теж можуть розмножуватися, або копіюватися, наприклад, нашими читачами. Вони після обмірковування можуть змінювати ці ідеї, передаючи їх іншим уже в зміненому вигляді. Прикладом подібного є виникнення гарних анекдотів. В подальшому вони будуть покращені іншими, і переможуть ті ідеї, які краще реплікуються. Чим не еволюція ідей та науки! Ця тема при детальному розгляді вимагає обсягів, що перевищують обсяг нашої книги. Тому ми зупинимося на цьому короткому викладі питання.

Наступну проблему для соціуму можна виявити в зміні навколишнього середовища. До навколишнього середовища можна віднести інші соціуми і саму природу. Між цими об'єктами, зрозуміло, присутній сильний взаємний вплив, причому не завжди позитивний.

Один із впливів становить головну екологічну проблему існування соціуму. Це, як не дивно, проблема відходів соціуму. Прадавня людина виробляла мало відходів, намагаючись використовувати ресурси максимальним чином¹. З поліпшенням умов існування турбота про ефективне використання ресурсів зменшувалася. Ресурсів, здавалося б, було багато. Кожна людина в соціумі виробляє певну кількість відходів, отже, їхня маса пропорційна чисельності населення, але це ще не все.

¹Хоча це справедливо тільки почасти, якщо врахувати зникнення практично всіх великих тварин і поховання кісток поблизу прадавніх поселень.

Виробництво товарів також сполучене з виробництвом відходів. Звісно, виробництво завжди пов'язане із взаємодією людей і більш ефективне. Число можливих взаємодій пропорційне $N(t)^2$. Тоді можна очікувати, що маса вироблених виробництвом відходів пропорційна квадрату чисельності населення. З цим добре узгоджуються й енергетичні витрати соціуму, як ми побачимо пізніше. Таким чином, маса відходів соціуму визначається простим співвідношенням:

$$m(t) = a \cdot N(t) + b \cdot N(t)^2, \quad (2.2)$$

де $N(t)$ — чисельність населення, а a і b сталі або такі, які повільно змінюються з часом, коефіцієнти, що залежать від рівня розвитку суспільства і від ступеня усвідомлення цієї проблеми.

Відразу можна помітити, що відходи окремих людей не становлять основну проблему. Основною проблемою є відходи виробництва. Якщо зупинитися на сучасних даних, то людство виробляє 3.5 млн тонн відходів за добу. У минулому сторіччі це значення було на порядок менше, а до 2025 року збільшиться вдвічі. «Керування твердими побутовими відходами — це одна з найбільших статей витрат у муніципальних бюджетах».¹ Слід зазначити, що на ринку відходів зосереджені величезні фінанси. Так, від збору до переробки відходів у Японії на безпечні промислові відходи витрачається 90 млрд доларів, а на побутові — 40 млрд доларів. Приблизно такі витрати мають: США — промислові відходи 40 млрд, а побутові — 60 млрд доларів, Норвегія: промислові — 60 млрд, а побутові — 50 млрд доларів.² Насправді ситуація ще гірша, що неминуче залучає злочинні організації для торгівлі відходами. Відомо, що 1980–1990 роки були піком нелегальної торгівлі відходами італійською мафією.

¹Daniel Hoornweg, Perinaz Bhada-tata, Chris Kennedy, Environment: Waste production must peak this century Nature, v.502, 2013

²За даними 2009 року.

Якщо повернутися до співвідношення (2.2), то стане ясно, що зростання маси відходів відбувається значно більш різко, ніж зростає чисельність людей (2.1). Один зі способів розв'язання проблеми — це застосування певних обмежуючих санкцій до таких виробництв. Згодом, можливо, відбудеться зменшення відходів виробництва і залишаться тільки власні відходи людей. Зрозуміло, до відходів належать можливі компоненти діяльності людини, які не використовуються надалі. Зокрема це й тепло, що виробляється людьми і виробництвами, радіохвильовий фон, радіоактивні відходи, пластикові пляшки й тара і багато чого іншого. Наприклад, існують цілі пластикові острови в Атлантичному океані. Наслідки впливу цих компонентів на природу і, відповідно, на соціум досліджені відносно слабо. Однак навряд чи варто очікувати їхнього сприятливого впливу на соціум. Розв'язання цієї проблеми потрібно шукати на політичному рівні держав із залученням науки.

Наші відходи впливають і на зміну клімату. Головні проблеми сьогодні пов'язані зі зростаючою через спалювання палива концентрації CO_2 в атмосфері, аерозолями в атмосфері, що впливають на її охолодження. Свій чималий внесок вносить і цементна промисловість. Такі компоненти порушують баланс між приходом сонячної енергії та її випромінюванням у космос. Цей механізм відомий за назвою «парниковий ефект». Він дуже простий: сонячне випромінювання, проходячи через атмосферу, нагріває поверхню Землі. Будь-яка нагріта поверхня теж випромінює теплове випромінювання, але в інфрачервоному діапазоні. Температура визначається різницею приходу й відходу теплової енергії. Однак, якщо атмосфера прозора для видимого світла, то для інфрачервоного діапазону вона менш прозора. Ще Сванте Ареніус (1859–1927, лауреат Нобелівської премії з хімії 1903 року) виявив, що прозорість для інфрачервоного діапазону зменшується з ростом концентрації водяної пари й вуглекислого газу в атмосфері. Це означає, що при підвищенні концентрації таких компонентів інфрачервоне випромінювання



Рис. 2.12. Характерний вигляд заводського пейзажу.

не випромінюється в космос, а поглинається атмосферою, нагріваючи її нижні шари і, відповідно, збільшуючи температуру.

В індустріальну епоху приблизно з 1800-х років діяльність людини призвела до потепління клімату, і цей вплив перевершує вплив природних процесів. Спроби вирішити цю проблему тривали, починаючи з 1990-х років. В 1997 році був підписаний Кіотський протокол як додаткова угода до «Рамкової конвенції ООН про зміну клімату». Ці документи регламентують викиди парникових газів розвиненими країнами та країнами з перехідною економікою. Слід зазначити, що зміна клімату — це повільний процес і, здавалося б, його впливу можна чекати не так швидко. Однак такий повільний процес може супроводжуватися збільшенням флуктуацій або швидких випадкових змін. От таке збільшення саме мінливості може мати навіть більшу загрозу, аніж повільні зміни. Власне, будь-який вид діяльності людини: наприклад, видобуток енергії, причому сюди потрібно включити і так звані екологічно чисті методи енергетики, промисловість, видобуток корисних копалин, сільське і лісове господарство, транспорт, рибальство і багато іншого — все це



Рис. 2.13. Обкладинка журналу *BioScience*, Volume 67, Issue 12, 1 December 2017, в якому було опубліковано друге «Попередження людству».

негативно впливає на природу. Відмінності полягають тільки в ступені такого впливу, але завжди згубного.

Насправді це тільки верхня частина айсберга — проблеми інтенсивного впливу на навколишнє середовище. Такий вплив на природу може викликати глобальну катастрофу у зовсім несподіваному напрямку. Уже зараз людство здійснює величезний тиск на природу. Це і знищення лісів — легенів нашої планети, згаданий вище викид вуглекислого газу, що призводить до парникового ефекту, забруднення середовища токсичними і радіоактивними речовинами і, зрештою, знищення тварин і рослин, позбавляючи їх природного середовища проживання. Трагізм полягає в тому, що ця проблема ще не усвідомлена соціумом. Так, мало хто знає, про «Попередження вчених людству» (World Scientists' Warning to Humanity) — маніфест, опублікований в 1992 році. Його підписали більш 1700 вчених, у тому числі більшість Нобелівських лауреатів, які жили на

той час. У ньому вони застерігали про те, що «люди й природа перебувають на траєкторії зіткнення». У маніфесті вчені висловили заклопотаність із приводу вже існуючого або потенційного збитку для планети, пов'язаного з виснаженням озонового шару, прісної води, морського життя, а також появою «мертвих зон» океанів, втратою лісів, руйнуванням біорозмаїття, зміною клімату і триваючим зростанням чисельності населення.

Через чверть століття, в 2017 році, у журналі Bioscience з'явилося Друге «Попередження людству», підписане 15 364 ученими з 184 країн. У ньому відзначається, що «за винятком стабілізації озонового шару стратосфери, людству не вдалося добитися достатнього прогресу в загальному вирішенні екологічних проблем, і тривожно, що більшість із них поглиблюються». Наведемо цитату з епілогу цього попередження: «Ми були приголомшені підтримкою цієї статті і дякуємо більш ніж 15000 передплатників з усіх куточків Землі. Наскільки нам відомо, це найбільше число вчених, які коли-небудь підписали й офіційно підтримали опубліковану статтю в журналі. <...> Працюючи разом, поважаючи різноманіття людей і думок та потребу в соціальній справедливості в усьому світі, ми зможемо досягнути великих успіхів заради людства і планети, від якої ми залежимо».

Гіпотеза Геї: усі організми утворюють єдиний надорганізм, що регулює умови на планеті, створюючи комфортні умови для життя.

Для того щоб пояснити, до чого може привести поглиблення проблем, почнемо з гіпотези Геї. Цю гіпотезу висунув у 1965 році британський вчений Джеймс Лавлок. У цей час він займався розробкою методів оцінки ймовірності життя на найближчих до Землі планетах. Такі дослідження добре фінансувалися НАСА!



Рис. 2.14. Маргаритка (*Bellis*) в перекладі з латинської «*bellus*» — «прекрасний». Квітка розкривається вранці і англійці називають її «Око дня» — «*Day's eye*».

У простому викладі ця гіпотеза полягає в тому, що всі організми утворюють єдину систему або надорганізм, що регулює умови на планеті, створюючи і підтримуючи комфортні умови для життя. Ця гіпотеза спочатку була сприйнята з недовірою. Тоді Джеймс Лавлок запропонував просту комп'ютерну модель, що дозволяє зрозуміти, як це відбувається. Цю модель він назвав «світ маргариток». Модель «світу маргариток» дає серйозні аргументи на підтримку цієї гіпотези. Для розуміння цього розглянемо гіпотетичну планету, на якій домінує суша. Нехай на цій планеті в променях світла своєї зірки ростуть тільки два види маргариток, білого та чорного кольору. Ясно, що також існує не заселена маргаритками поверхня.

Припустимо, температура на цій планеті збільшилася й стала не комфортна для маргариток. Що відбудеться? Це легко зрозуміти, не використовуючи комп'ютер, а звернувшись до здорового глузду. Там, де ростуть чорні маргаритки, температура буде трохи вищою. Причина в їхньому кольорі: чорні маргаритки відбивають менше світла й, отже, поверхня, покрита ними, буде більше поглинати світла й більше нагріватися. Значить, умови

для чорних маргариток будуть гірші, ніж для білих. Білі маргаритки відбивають більше світла й, отже, температура, де вони ростуть, буде більш комфортною. Ясно, що чисельність чорних маргариток у несприятливих умовах буде зменшуватися, а чисельність білих збільшуватися. Значить, поверхня планети в цілому стане відбивати більше світла, й температура на планеті знизиться до комфортної. Аналогічно при зменшенні температури відбудеться збільшення чисельності чорних маргариток — поверхня планети стане поглинати більше світла й температура на планеті збільшиться до комфортної. Інакше кажучи, маргаритки на своїй планеті будуть підтримувати комфортну температуру для свого існування!

Зараз відомі й експериментальні доводи на користь цієї гіпотези. Наприклад, виявилося, що температуру над океаном регулюють мікроорганізми, що живуть в океані. При підвищенні температури вони виробляють речовини, які сприяють утворенню хмар. Хмари екранують океан від сонячного випромінювання — і температура поверхні океану зменшується. Та й дощ і взагалі опади, як було виявлено в 2008 році, викликають бактерії, зокрема, *Pseudomonas syringae*. Ці бактерії, подорожуючи з хмарами, при деякому підвищенні температури викликають опади.

Тепер уявімо, що на такій планеті живе тварина, яка харчується маргаритками. Її комфортна температура існування збігається з температурою, комфортною для маргариток. Нехай знову температура збільшується, а ця тварина з естетичних міркувань поїдає тільки білі маргаритки. У цьому випадку поверхня, заселена білими маргаритками, буде зменшуватися, і температура на планеті продовже збільшуватися далі. Вона перестане бути комфортною не тільки для маргариток, але й для тварини. Фінал очевидний — загинуть усі.

Наш світ набагато складніший від світу маргариток. Комфортність визначається не тільки температурою, а багатьма параметрами. Наприклад, концентрацією кисню та інших газів,



Рис. 2.15. Знімок нічної Європи з супутника, отриманий космічним агентством NASA. Добре помітно свічення мільйонів вогнів, які демонструють енерговитрати людства.

тиском повітря, радіаційним фоном і багатьма іншими. Як підтримуються комфортні умови на нашій планеті, ми не знаємо. Однак порушити такі умови легко, і тоді життя на нашій планеті виявиться, у найкращому випадку, некомфортним. До чого це приведе, залишаємо для роздумів читачам.

Мы живем, точно в сне неразгаданном,
На одной из удобных планет...
Много есть, чего вовсе не надо нам,
А того, что нам хочется, нет.

Игорь Северянин «Странно...»

В нашім світі, до марень подібному,
Живемо ми багато сторіч.
Так багато тут нам непотрібного,
Ну а бажане — рідкісна річ.

Ігор Северянін. Переклад Ганни Яновської

Необдумане використання ресурсів веде до ще однієї проблеми соціуму. Це проблема вичерпання ресурсів на планетарному

рівні. Причина цього частково пов'язана зі зростанням чисельності людей, але є компонента, пов'язана і зі зростанням рівня життя і, як наслідок, збільшення витрат енергії на її забезпечення (см. Рис.2.15). Так споживання енергії E росте відповідно до закономірності $E \sim N(t)^2$ згідно з даними Холдрена, радника президента Обама з питань науки. Відповідно, ресурси, пов'язані з виробництвом енергії, мають рано, чи пізно вичерпатися. Ресурси різних типів палива мають різні обсяги і використовуються з різною швидкістю, тому вичерпаються в різний час.

Скінченність ресурсів веде до їх неминучого зникнення, економія ресурсів тільки відсуває катастрофу.

Треба зазначити, що економія ресурсів не вирішує цю проблему, а тільки відсуває катастрофу. Причина цього в скінченності ресурсів і вичерпання їх невідворотне, тому ця проблема неминуча. Серйозне дослідження цієї проблеми ще чекає свого часу. Аналогічна проблема може загрожувати і такому важливому ресурсу, як вода. До вирішення цих проблем потрібно готуватися вже зараз.

Боротьба за ресурси різних соціумів при низькому рівні моралі може суттєво прискорити настання катастрофи. Це у свою чергу підводить нас до традиційної і добре відомої проблеми боротьби між різними соціумами. Прикладами таких проблем є вся історія людства, починаючи зі зникнення всіх видів Ното, окрім одного. Методи та інструменти такої боротьби охоплюють усі доступні канали впливу на соціуми. Надзвичайним заходом є війна. Причини цього різноманітні і залежать від рівня моралі відповідного соціуму. До основних причин у цьому випадку відносять релігійні, політичні, економічні та культурні відмінності. Зрозуміло, як згадувалося вище, сюди потрібно додати ще

і володіння ресурсами. Із вдосконаленням моралі спільноти частина причин стають аморальними і не схвалюються соціумом. Для таких соціумів остання обставина приховує в собі і певну загрозу з боку інших, менш моральних спільнот. Обговорення цієї проблеми можна знайти в різних джерелах і тому ми не будемо затримуватися на ній.

Ще одну проблему соціум породжує автоматично. Це техногенні катастрофи. Тут ми маємо на увазі аварії, які приводять до масової загибелі людей і екологічних катастроф. Глобальна причина — існування великих виробництв, необхідних соціуму. Як правило завжди існує ймовірність катастрофи на будь-яких підприємствах. Усе залежить від того, що виробляє підприємство. Причин виникнення таких катастроф безліч. Серед них можна виділити зовнішні природні, людський фактор і непередбачені ситуації з функціонуванням складних систем. Врахувати і виключити абсолютно всі ці фактори неможливо. Можна тільки спробувати зменшити ризик.

Згадаємо недавні події на АЕС «Фукусіма-1». Ця атомна електростанція проектувалась з величезним запасом міцності й надійності. Проектувальники врахували «все» і навіть не могли уявити, як можна пошкодити її. Проте 11 березня 2011 року цунамі, викликана землетрусом, призвела до великої аварії, яка за міжнародною шкалою відноситься до максимального сьомого рівня. Фінансовий збиток перевищує 100 млрд доларів. Кількість жертв від землетрусу і цунамі 19 тисяч чоловік, а аварія на АЕС «Фукусіма-1» призвела до загибелі 1603 людей. Слід зауважити, що основною причиною їхньої загибелі було не радіоактивне зараження, а психологічні стреси і погане медичне обслуговування евакуйованого населення (близько 150 000 чоловік).

Звісно, це не найбільша техногенна катастрофа. Більш масштабна катастрофа відбулася 3 грудня 1984 року в Індії. На хімічному заводі Union Carbide відбувся викид парів метилізоціаната. У цей трагічний день померло 3 тисячі людей, а від



Рис. 2.16. *Вибух після аварії потягу, що перевозив 70 цистерн сирої нафти в Канаді (провінція Квебек). Половина міста Лак-Мегантік була зруйнована вибухом і подальшою пожежею. Загинуло близько 50 осіб.*

наслідків ще 15 тисяч людей. Постраждало від цієї катастрофи 200–600 тисяч людей.

Наступна за кількістю жертв найбільша техногенна катастрофа відбулася в Китаї 8 серпня 1975 року. Тайфун Ніна викликав прорив дамби Баньцяо, і від повені загинуло 26 тисяч людей. Від наслідків через голод і епідемії загинули ще від 171 до 230 тисяч жителів.

Треба згадати і Чорнобильську аварію, 26 квітня 1986 року. Це була найбільша аварія XX століття, яка стала на багато років символом техногенних катастроф. В атмосферу було викинуто величезну кількість радіоактивних речовин. Радіоактивні опади випали на території України, Білорусії, Росії і навіть досягли території Швеції.

Можна навести безліч прикладів техногенних катастроф, що відбулися практично в усіх країнах світу (див., наприклад, Рис.2.16). Список їх величезний. Проте зазвичай ми не думаємо

про техногенні катастрофи, вони здаються нам такими, що відбуваються десь далеко, і тільки сам факт виникнення несподіваної катастрофи змушує нас звернутися до цієї проблеми. Для запобігання, або точніше, зменшення ризику таких катастроф, потрібне проведення наукомістких досліджень щодо збільшення надійності функціонування складних систем і розробці критеріїв ризику.

Тут доречно згадати про ще одну проблему, що веде до масової загибелі людей, пов'язану з транспортними аваріями. Якщо звернутися до даних Всесвітньої організації охорони здоров'я, то ми довідаємося, що кожні 24 секунди на дорогах світу гине людина. Це величезна плата за зручність пересувань. При цьому частка пішоходів і велосипедистів становить 26% смертельних випадків під час дорожньо-транспортних пригод. Основна причина цього — людський фактор. У цьому можна перекоонатися, порівнявши, що в Африці цей показник сягає 44%, у Східному Середземномор'ї — 36%, а найнижчий — у Європі. Зазначимо, що ми не торкнулися ще кількості людей, що травмуються у таких аваріях, яка, зрозуміло, значно перевищує число загиблих. Вирішення цієї проблеми може досить легко запропонувати будь-який читач. Це дотримання правил вуличного руху і неминучість покарання за їх порушення.

Існування соціуму завжди супроводжується величезним клубком проблем.

Уже з перерахованого вище можна зробити висновок, що існування соціуму завжди супроводжується величезним клубком проблем, багато з яких ще невідомі та не досліджені наукою. Деякі проблеми ми не згадали в цьому розділі з різних причин. Серед них і проблема швидкості еволюції соціуму, яка може бути значно швидшою за генну еволюцію. Та й сама генна

інженерія може привести до непередбачуваних наслідків, що досить часто зараз обговорюється на рівні державних інститутів провідних країн світу.

Виникає питання: чи можна сподіватися розв'язати ці проблеми, не залучаючи Науку?

2.2. Проблеми Людства

Наш Світ малий, хоча нам може здаватися інакше. Якщо повернутися в дитинство і зайти в той величезний двір, у якому ми ще маленькими пережили безліч пригод, то першим враженням буде подив: який він малий. Так і з людством у його дитячому віці. У цьому розділі ми торкнемося подій, які сталися з вигаданими маленькими кумедними персонажами — мумі-тролями і їхніми друзями. Їх придумала знаменита дитяча письменниця Туве Янссон. Їхній величезний Світ — маленька долина, в якій вони живуть. У книзі «Мумі-Троль і комета» на Мумі-долину насувається кінець світу!

У Долині мумі-тролів увесь час що-небудь відбувається. Іноді кумедне, іноді дуже небезпечне і страшне. От і зараз, коли, здавалося б, ніщо не віщувало лиха, до землі рухається Комета з космосу. Що ж буде з Долиною, затишним будиночком мумі-тролів і всією Землею? У Мумі-Троля і його друзів є всього чотири дні, щоб знайти далеку обсерваторію та професора, який вирішить задачу і допоможе врятувати світ...

У космічних масштабах людина — настільки ж мікроскопічна істота, як і казковий Мумі-троль.

Часом ми навіть не замислюємося, що зміни, які відбуваються в нашому відкритому світі, приховують у собі безліч загроз для існування людства і життя на Землі. Одна з цілком імовірних — це загроза падіння на Землю великого метеорита. І в космічних масштабах людина — настільки ж мікроскопічна істота, як і казковий Мумі-троль.

Такі події трапляються і в реальному світі. Зовсім недавно, 15 лютого 2013 року, Земля зіштовхнулася з метеоритом діаметром приблизно 17 метрів і масою близько 10 тисяч тонн.

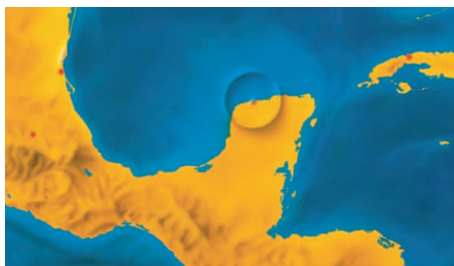


Рис. 2.17. *Кратер Чикшулуб діаметром 180 км. Енергія удару астероїда діаметром близько 10 км оцінюється в $5 \cdot 10^{23}$ джоулів.*

Увійшовши в атмосферу, під час гальмування він зруйнувався на висоті 15–25 км поблизу Челябінська. З часів Тунгуського метеорита (1908) за оцінкою НАСА це найбільше небесне тіло, що впало на Землю. Враховуючи, що вибух відбувся на висоті приблизно вдвічі більшій від Тунгуського метеорита, можна сказати, що Челябінську пощастило й постраждало всього лише 1615 людей. Основні травми були отримані від вибитого вибухом скла. Найсумніше в цій історії те, що метеорит був виявлений тільки при потраплянні в атмосферу. Інакше кажучи, заздалегідь у космосі він не був помічений! Тож приготуватися до зустрічі з ним людство не могло.

В прадавні часи відбувалися й більш масштабні події. Так, відповідно до однієї з гіпотез, запропонованої Нобелівським лауреатом з фізики Луїсом Альваресом (1911–1988), такі чудові тварини, як динозаври, були знищені внаслідок падіння великого астероїда. Точніше, наступним за цим падінням підняттям величезної маси пилу й екрануванням Сонця, що призвело до похолодання і руйнування харчових ланцюжків. Вважається, що таке вимирання викликало падіння астероїда або комети в районі мексиканського півострова Юкатан. За часом вимирання приблизно збігається з утворенням кратера

Чикшулуб¹. На малюнку (Рис. 2.17) позначений слід падіння великого астероїда розміром приблизно 10 км, яке відбулося близько 65 млн років тому. Звернемо увагу, удар припав на межу розділу середовищ — землі, повітря і води. Це найнебезпечніший варіант.

Динозаври зникли тому, що не розвивали фундаментальну науку.

Насправді причина тут більш глибока. І як би це не було дивним і парадоксальним та навіть викликало посмішку, після глибоких роздумів ми будемо змушені з цим погодитися. Динозаври не розвивали фундаментальні науки і автоматично були приречені на знищення. Якби вони вижили після падіння астероїда, то будь-яка наступна причина, наприклад, збільшення вулканічної активності або поява квіткових рослин, зміна клімату привела б до їхнього знищення. Вони були не готові до змін і навіть не знали про них. До речі, це дає відповідь ще на одне запитання, яке часто обговорюється: як змінилося б життя на Землі, якби не випадкове падіння цього астероїда або комети. Звичайно доходять до висновку, що на Землі зараз би «правили бал» динозаври. Це впливає з могутності цих тварин та великої кількості видів, які населяли Землю того часу. Адже не даремно Річард Оуен у 1842 році ввів термін «динозавр», що означало «жахливий ящір». Походить це слово від грецьких *δεινος* — великий, страшний, жахливий, небезпечний і *σαυρα* — ящір. Проте динозаври не могли захопити очолюючу позицію, у них не було майбутнього. Вони були приречені як і всі, хто не розбудовує Науку.

¹ Назва кратера з мови майя перекладається як Демон кліщів.

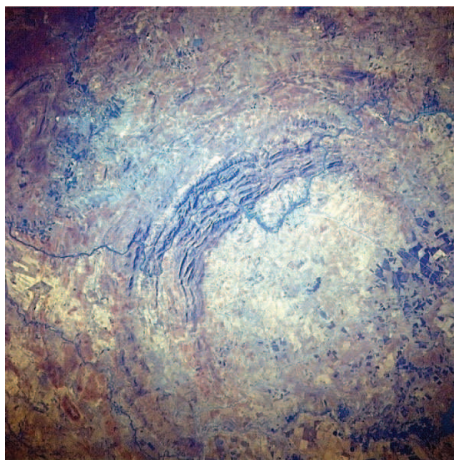


Рис. 2.18. Фотографія з космосу одного з найбільших кратерів — кратера Вредефорт у ПАР. Його діаметр 300 км, а вік приблизно 2 млрд років. Це результат зіткнення з астероїдом діаметром близько 10 кілометрів.

Зрозуміло, дійсної причини зникнення динозаврів не знає ніхто, усі сценарії — це тільки гіпотези. Можна погодитися з одним: те, що вбило динозаврів, може вбити і людство.

Почнемо з аналізу частоти падіння на Землю великих космічних тіл. Комети й астероїди розміром понад 100 м падають на Землю не частіше одного разу на 1000 років. Важливе запитання, на яке наука може відповісти: звідки вони беруться?

Джерелами великих космічних тіл, що несуть загрозу Землі, служать три об'єкти. Це пояс астероїдів, пояс Койпера, хмара Оорта.

Пояс астероїдів — це кільцева область, яка розташована між орбітами Марса і Юпітера. Сильне гравітаційне поле Юпітера перешкоджало утворенню протопланети й привело до утворення скупчення астероїдів. Ці астероїди в основному трьох класів — вуглецеві, силікатні й металеві, або залізні. У ньому

ж перебувають і чотири великі об'єкти: Церера — карликова планета діаметром 950 км, Веста — діаметр 524 км, Паллада — 512 км, Гігея — 407 км.

Пояс Койпера починається приблизно з орбіти Нептуна і тягнеться на відстань вдвічі далі цієї орбіти. Космічні тіла, що входять до нього, формуються з матеріалу, який залишився після формування Сонячної системи. Тут багато летючих компонентів, які видув на окраїну сонячний вітер, тому вони складаються з льоду летючих речовин, таких як метан, аміак і вода. Також до його складу входять відомі чотири карликові планети — Плутон, Хаумеа, Макемаке і Еріда. Слід зазначити, що недавно американські астрономи відкрили ще одну карликову планету, яка віддалена від Сонця на 18 млрд км. Вони назвали її Farout (від англійського «far out» — дуже далекий). Наразі про цю планету відомо дуже небагато. Її діаметр оцінюють близько 500 км. Зрозуміло, можуть бути відкриті ще більш віддалені карликові, а можливо, й великі планети. Пояс Койпера вважається головним джерелом короткоперіодичних комет.

Хмара Оорта віддалена від Сонця в тисячу разів далі пояса Койпера і служить джерелом комет з більшим періодом руху. Існує гіпотеза, що хмара Оорта — найбільш імовірне джерело комет, які можуть зіштовхнутися із Землею.

Чим же небезпечні удари таких об'єктів? Наприклад, якщо розглянути відомий астероїд Апофіз, то з урахуванням маси і швидкості його кінетична енергія становить $2.4 \cdot 10^{19}$ Дж. Це на п'ять порядків перевершує енергію атомної бомби, скинутої на Хіросіму, — 10^{14} Дж. Образно кажучи, його енергія порівняна з вибухом ста тисяч таких бомб. Наслідки поглинання такої енергії будуть катастрофічними. Якщо вибух відбудеться в атмосфері, то виникне ударна хвиля величезної сили. Якщо удар відбудеться об поверхню Землі, то ударна хвиля буде поширюватися в земній корі. Її поширення буде супроводжуватися підвищенням вулканічної активності. При падінні в океан виникне цунамі небаченого масштабу.

Але це тільки провісники справжньої катастрофи. Падіння таких об'єктів викличе викид величезної кількості речовини, яка піднявшись у стратосферу, екранує Сонце і викличе глобальне похолодання, активізується вулканічна діяльність і, зрештою, пожежі.

До речі, деякий час Апофіз вважали загрозою для Землі. Спочатку обчислення його траєкторії привело до підозри, що можливе його зіткнення із Землею в 2029 році. Імовірність цього була оцінена приблизно в 2.7%. Потім, провівши уточнені розрахунки з більш точними початковими даними, вчені з'ясували, що загроза зіткнення із Землею значно перебільшена. Причина такої неточності прогнозу пов'язана з нелінійністю рівнянь руху і, відповідно, з високою чутливістю до неточності початкових даних. Тому якщо дані не точні, то передбачення стає не точним і помилка експоненціально збільшується з часом, що робить довгострокові прогнози практично неможливими. Уточнені розрахунки дають імовірність зіткнення 1/1000 000. Зараз Апофіз не входить навіть у п'ятірку астероїдів, потенційно небезпечних для Землі.

Вважається, що падіння об'єктів з більш ніж кілометровим діаметром викличе глобальну катастрофу людства. Якщо «прибулець» з космосу буде кілометрового розміру, то він зможе знищити життя на цілому континенті. А якщо впаде десятикілометрова махина, то не вціліє ніщо живе ні на Землі, ні в атмосфері. У таких величезних космічних тіл запас енергії колосальний. Більш дрібні об'єкти типу Апофіз діаметром 325 м, викличуть катастрофи трохи меншого масштабу. Падіння таких об'єктів відбувалося неодноразово за всю історію існування Землі.

Більші астероїди також залишили сліди на Землі. Один із найбільших кратерів — кратер Вредефорт у ПАР можна побачити з космосу, і його фотографія показана на Рис.2.18. Гігантський кратер утворився як відбиток удару 10-кілометрового астероїда. Свою назву одержав на честь міста Вредефорт, розташованого всередині кратера.

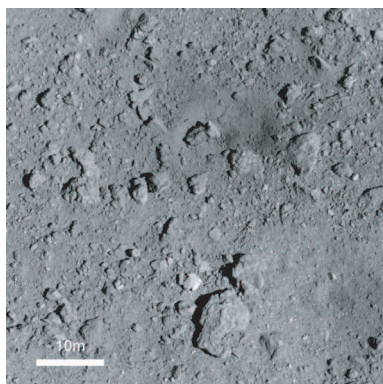


Рис. 2.19. Фотографія штучного кратера на поверхні астероїда Рюгу. Він утворювався 5 квітня 2019 року, коли японський космічний зонд «Хаябуса-2» скинув на поверхню астероїда бомбу з 4,5-кілограмовим зарядом вибухової речовини.

Проблема атаки астероїдом була усвідомлена в 1990-ті роки. Багато країн і організацій звернули увагу на цю проблему й прийняли ряд резолюцій, серед яких одна з найважливіших — Резолюція 1080 «Про виявлення астероїдів і комет, потенційно небезпечних для людства», прийнята в 1996 році Парламентською асамблеєю Ради Європи. Але виявити мало, треба ще спробувати виправити становище. Якщо замислитися, то існує кілька можливостей. Грубо кажучи, їх дві. Так, можна зруйнувати астероїд — це героїчний шлях, оспіваний у відомому фільмі «Армагедон». Менш героїчний, але більш ефективний — змінити траєкторію астероїда, відводячи його повз Землю. Для цього потрібен час і, отже, потрібне раннє виявлення загрози. Реалізувати цей варіант можна декількома способами. Можна спробувати вдарити по астероїду космічним кораблем, можна відбуксирувати астероїд масивним космічним апаратом, можна просто пофарбувати один бік, змінивши характер відбиття від поверхні астероїда. Таке фарбування змінить тиск сонячного

вітру, що приведе до зміни траєкторії. Головне, знати, де його пофарбувати.

Слід зазначити, що все це виглядає фантастичними проектами тільки на перший погляд. Так, наприклад, НАСА планує в 2022 році змінити траєкторію астероїда Дідим. Космічний апарат DART на повній швидкості повинен врізатися в супутник цього астероїда. Вчені сподіваються вивчити можливості такого способу впливу на траєкторію астероїда.

Ще далі просунулася японська станція «Хаябуса-2». Вона здійснила дивовижну місію щодо астероїда Рюгу (162173 Ryugu). Ця станція підлетіла до астероїда й висадила на нього роботів Rover-1A і Rover-1B, вони передали знімки поверхні астероїда. Потім на поверхню астероїда висадився модуль MASCOT. Він виконав дослідження ґрунту в трьох різних місцях астероїда, а дані передав на станцію. Зрозуміло, і сама станція здійснила посадку для взяття проб ґрунту. Далі «Хаябуса-2» злетівши, скинула на поверхню астероїда бомбу, кратер від її вибуху показаний на Рис.2.19. Можна сказати, що це слабкий варіант героїчного сценарію. Нарешті, станція успішно здійснила другу посадку на поверхню астероїда приблизно в 20 метрах від штучного кратера для збору уламків з подальшою доставкою їх на Землю. Ця посадка була здійснена 11 липня 2019 року, а ось доставку на Землю ще треба буде здійснити. У листопаді 2019 року «Хаябуса-2» покинула астероїд і направилася до Землі. Вона досягне Землі в грудні 2020 року. Чекаємо цієї події з нетерпінням. Це ще один яскравий приклад, що прогрес в освоєнні космосу та задача порятунку нашої планети стають здійсненими тільки завдяки досягненням науки.

Треба підкреслити, що такі досягнення самі по собі не виникають. Це робота величезного колективу вчених, які використовують складне устаткування, дорогі науково-дослідні комплекси. Для всього цього в першу чергу необхідне фінансування. Так, вартість місії на Рюгу коштувала 270 млн доларів. Насправді це не найдорожчий проект. Вартість програми

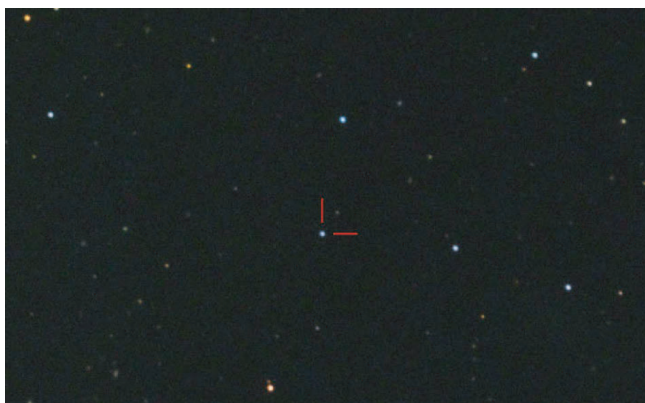


Рис. 2.20. *Найпотужніший гамма-сплеск із тих, що спостерігались, під умовною назвою GRB 130427A відбувся 27 квітня 2013 року. Галактику, в якій він відбувся, через віддаленість не видно.*

«Аполлон» з висадки астронавтів на Місяць склала приблизно 23 млрд доларів. За 1969–1972 роки американські астронавти висаджувались на Місяць шість разів!!! Дорого, але здається, що вартість людства незмірно більша. Провідні країни, такі як США, Франція, Японія, Китай, досягли великого прогресу в освоєнні космосу. Інші країни, зменшивши фінансування науки, втратили своє значення в освоєнні космосу.

Перейдемо до розгляду інших проблем.

Одна з поки що мало відомих — проблема гамма-спалахів (див. Рис. 2.20). Це ще один вражаючий аргумент на користь необхідності прискореного розвитку фундаментальних досліджень. У 1967 році супутник Vela-4A зареєстрував сплеск гамма-випромінювання тривалістю 1 сек. Незабаром з'ясувалося його космічне походження. Виявилося, що такі гамма-спалахи відбуваються у віддалених галактиках. Енергетика таких джерел фантастична. За час спалаху вивільняється стільки

енергії, скільки Сонце виділило б за 10 млрд років! Механізми виникнення таких спалахів ще вивчаються, але зараз їх прийнято пов'язувати з грандіозними процесами вибуху наднової, коли масивна зірка, що швидко обертається, колапсує, перетворюючись або на нейтронну зірку, або на кваркову зірку, або на чорну діру. Інший механізм пов'язаний зі злиттям подвійних нейтронних зірок.

За короткий час гамма-спалаху вивільняється стільки енергії, скільки Сонце виділило б за 10 млрд років світіння.

Для нас важливо інше. Зараз гамма-спалахи реєструються раз на день. Нам поки щастить, що всі вони відбуваються в інших галактиках. Якби така подія відбулася в нашій Галактиці, це призвело б до знищення життя на нашій планеті, можливо, окрім глибоководних форм. Важко стриматися від цитування Бориса Штерна: «Візьмемо помірний випадок енерговиділення 10^{52} ерг і відстань до сплеску в 3 парсека, або 10 світлових років — на такий відстані від нас перебувають з десятків зірок. При такій відстані за лічені секунди на кожному квадратному сантиметрі, що трапився на шляху гамма-квантів планети, виділиться 10^{13} ерг. Це еквівалентно вибуху атомної бомби на кожному гектарі неба! Атмосфера не допомагає: хоча енергія висвітиться в її верхніх шарах, значна частина миттєво дійде до поверхні у вигляді світла. Ясно, що все живе на опроміненій половині планети буде винищено миттєво, на іншій половині — трохи пізніше за рахунок вторинних ефектів. Навіть якщо ми візьмемо в 100 разів більшу відстань (це вже товщина галактичного диска й сотні тисяч зірок), ефект (по одній атомній бомбі на квадрат зі стороною 10 км) буде найтяжчим ударом, і отут



Рис. 2.21. Виверження вулкана Стромболі 3 липня 2019 року. Це відбулося на італійському острові Стромболі.

вже треба серйозно оцінювати — що виживе і чи виживе взагалі щось».

Залишається тільки додати, що характерний час між гамма-спалахами в обраній галактиці — близько мільйона років і, відповідно, це і є час, відпущений на її вирішення. Можливо, саме це явище відповідальне за відсутність виявлених інопланетних цивілізацій. Існує гіпотеза, що гамма-спалах став причиною ордовикско-силурійського вимирання, коли загинули 60% видів живих істот. Це сталося близько 443 млн років тому.

Надра нашої планети служать джерелом декількох проблем. Насамперед, на Землі існує близько 20 супервулканів, виверження яких може змінити температурний баланс Землі й викликати масові катастрофи. Частота вивержень цих вулканів — приблизно один раз в 100 тисяч років. Наприклад, при виверженні Йеллоустонської кальдери, або супервулкана у Йеллоустонському національному парку на північному заході США буде викинута величезна хмара, яка екранує надходження



Рис. 2.22. Північне сяйво — результат взаємодії сонячного вітру з магнітним полем Землі.

енергії від Сонця. Середньорічна температура при цьому знизиться на 12 градусів. Виникне глобальний неврожай на Землі. Температура повільно повернеться до норми лише протягом декількох років. Окрім цього, виверження інших супервулканів загрожують утворенням гігантських цунамі, які принесуть величезні непередбачені руйнування.

Інша проблема, пов'язана з надрами, — це магнітне поле Землі. Його роль як космічного щита від сонячної радіації загальновідома. Магнітне поле Землі генерується і підтримується динамічними процесами, які називаються магнітним динамо¹. Можна сказати, що рідка лава в глибині Землі в процесі руху генерує магнітне поле нашої планети. Це динамічний процес. Тому цікаво довідатися, яким було магнітне поле в давні часи. Досліджуючи, як поводити себе магнітне поле Землі протягом геологічних масштабів часів, вчені експериментально виявили явище переполюсовки, або інверсії магнітного поля. Це означає зміну напрямку магнітного поля Землі на протилежне.

Як про це вдалося довідатися? Просто виявилось, що відбитки магнітного поля Землі залишаються в багатьох мінералах.

¹Магнітогідродинамічне динамо — ефект генерації магнітного поля певними рухами провідної рідини.

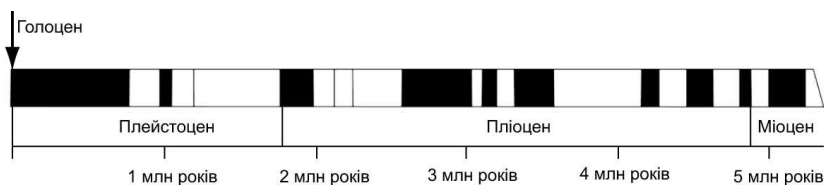


Рис. 2.23. Шкала інверсій магнітного поля Землі. Час відлічується від нашого часу в мільйонах років. Опублікована в 1965 році С. Канде й Д. Кентом. Чорним показана орієнтація така, як зараз, білим — протилежний напрямок осі магнітного поля.

Вони відіграють роль своєрідних магнітних носіїв — «флешок», на яких записана величина та напрямок магнітного поля. Це дозволяє датувати величину і напрямок осі магнітного поля Землі.

За геологічну історію Землі магнітна переполюсовка відбувалася багаторазово!

За геологічну історію Землі така переполюсовка відбувалася багаторазово¹(див. Рис.2.23). Остання переполюсовка магнітного поля відбулася близько 780 тисяч років тому. Однак за час існування нашого виду переполюсовка ще не відбувалася. Час виникнення такого явища випадковий, що ускладнює його передбачення. Часовий масштаб тривалості цього процесу оцінюється від 10 тисяч років до 1 млн років. Легко зрозуміти, що в процесі переполюсовки існує період відсутності магнітного поля і, відповідно, захисту від сонячної радіації. Ясно, що період відсутності або дуже малого магнітного поля має бути досить тривалим — близько тисячі років. Це загрозлива цифра для

¹Приблизно 20 разів.

людства і життя на Землі, тому що за час відсутності магнітного поля Землі буде суттєво ослаблений і «щит» від сонячної радіації.

Зауважимо, що така ситуація вже існує на Марсі. У цієї планети відсутнє власне магнітне поле. небезпека опромінення зростає ще й через дуже слабку атмосферу. У бік ослаблення радіації діє тільки більша віддаленість планети від Сонця. Ще в 2001 році для дослідження радіаційної обстановки Марса Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору (США) направило космічний зонд Mars Odyssey до нього. Протягом майже 18 місяців його функціонування на орбіті було встановлено, що середній рівень радіації приблизно в 3 рази (8 Рад¹ на рік) перевищує відповідний рівень на Міжнародній космічній станції біля Землі. Крім цього, були зафіксовані два радіаційних спалахи до 2 Рад на день. Зауважимо, що на Землі люди в середньому піддаються впливу 0.62 Рад на рік. Порівняння рівнів радіації на Землі і на Марсі дозволяє говорити про небезпеку проживання людей на Марсі. У людей будуть проблеми — можливе виникнення цілого спектру явищ — від променевої хвороби, ракових захворювань і генетичних змін. При заселенні Марса ці проблеми потрібно передбачити.

За останні 150 років магнітне поле Землі зменшилось приблизно на 10%, і це ознака, що насторожує.

Повертаючись до магнітного поля Землі, слід зауважити, що, можливо, ми вже знаходимося напередодні переполусовки. За

¹Рад — це одиниця вимірювання поглинутої дози іонізуючого випромінювання. 1 Рад — доза опромінення, при якій 1 грам речовини поглинає енергію іонізуючого випромінювання 100 ерг.



Рис. 2.24. Приблизно так буде виглядати Пангея Проксима через 250 млн років.

останні 150 років магнітне поле Землі зменшилось приблизно на 10%, і це ознака, що насторожує.

Рух материків служить джерелом ще однієї проблеми. Якщо подивитися на карту світу, то можна помітити дивний збіг обрисів узбережжя Африки і Південної Америки. На це звернув увагу ще в 1620 році видатний мислитель Нового часу Френсіс Бекон (1561–1626), до речі, автор трактату «The Proficiency and Advancement of Learning Divine and Human» («Успіхи та розвиток знання божественного і людського»), у якому довів велике значення наук для людського суспільства. Ідею про рух материків висунув в 1668 французький теолог Франко Плаке. І тільки в 1912 році теорія дрейфу материків була запропонована Альфредом Вегенером на основі експериментальних даних. Відразу після появи вона зазнала критики і не знайшла прихильників, але нові дані підтвердили дрейф материків.

Якщо спробувати повернути час назад, зрозуміло, подумки, то можна виявити, що приблизно 225 млн років тому існував один континент, який назвали Пангеєю. Назва походить від грецького *Πανγῆα* — всеземля. За 180 млн років Пангея

розпалася, і континенти набули сучасного розташування. Треба зазначити, що й до Пангеї тектонічна динаміка плит була присутня. Так, ще раніше, близько 420 млн років тому, на Землі можна було спостерігати 4 континенти, які, зіштовхнувшись, і утворювали Пангею. Однак, якщо можна відновити в думках минуле материків, то можна спробувати довідатися про їхнє майбутнє. Сучасний погляд на майбутнє материків полягає в тому, що приблизно через 250 млн років материки знову зіштовхнуться, утворюючи один Суперматерик. Цьому материку придумали навіть назву — «Пангея Проксима» (див. Рис.2.24). Зрозуміло, це буде відбуватися на тлі зміни рельєфу континентів і активізації вулканічної діяльності. Навряд чи це обіцяє спокійне існування людству.

**Пандемії із завидною періодичністю
приголомшують Людство.**

Ще однієї проблеми не можна не торкнутися — це проблема пандемій. Слово «пандемія», можливо, більш знайомо по синоніму «епідемія». Воно походить від грецького слова *πανδημια*, що означає «увесь народ». Під пандемією розуміють хворобу, що вразила майже все населення країни, а іноді й багатьох країн світу. Пандемії із завидною періодичністю приголомшують Людство. Враховуючи тенденцію росту чисельності населення і концентрування його в містах¹, що призводить до високої щільності населення, можна зрозуміти, що загроза пандемій буде тільки зростати.

В якості сумно відомого прикладу можна згадати віспу. Це вірусне захворювання, смертність від якого сягала 40%, очевидно, перебуває на першому місці за кількістю знищених людей. Це була одна з розповсюджених і небезпечних хвороб в стародавній

¹Зараз понад 50% населення проживає в містах.

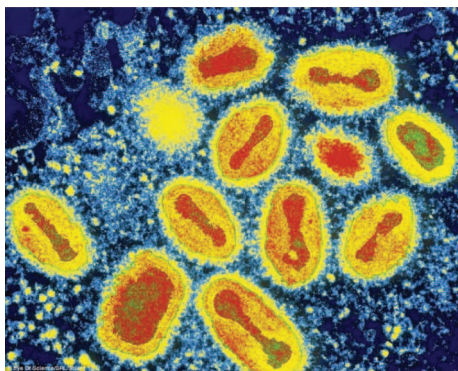


Рис. 2.25. Віруси, точніше, віріони віспи.

часи. Перші описи віспи були знайдені в єгипетському папірусі Аменофіса I, складеному за 4 тис. років до нашої ери. Експериментальне виявлення найдавніших гнійних висипань було здійснено на мумії фараона Єгипту Рамзеса V. У Європу віспа прийшла в VIII столітті з приходом в Іспанію арабів. Додатковими джерелами зараження служили і хрестові походи в XI–XIII століттях. Віспа наприкінці XVIII століття вбивала щорічно близько 400000 європейців. Іспанські мореплавці занесли віспу на Американський континент. В Америці віспою було вбито від 70% до 90% корінного населення. Власне, віспа й забезпечила колонізацію та знищення багатьох розвинених індіанських держав.

Тільки завдяки науці віспа була переможена. Вакцинування населення забезпечило перемогу над цим небезпечним вірусним захворюванням. Всесвітня організація охорони здоров'я оголосила про ліквідацію віспи в 1979 році. Вважається, що вірус віспи зберігається тільки в деяких лабораторіях США і Росії. Зрозуміло, геном вірусу віспи повністю вивчений і, отже, вірус віспи може бути синтезований штучно. Крім цього, віруси віспи можуть зберегтися випадково в неконтрольованих місцях.

Випадки виявлення таких джерел історично задокументовані. Цікаво зазначити, що віспа — єдине з вірусних захворювань людей, знищених людством¹. Цьому сприяла властивість вірусу віспи вражати тільки людей.

Віспа — єдине вірусне захворювання людей, переможене наукою.

Усі інші вірусні хвороби поки непереможні. До таких хвороб належить і поліомієліт, який супроводжував людство протягом тисячоліть. Причиною є поліовірус, який вражає нервову систему людини. Працюючи над вдосконалюванням вакцини з 1950 року, лікарі домоглися різкого зменшення захворювань у розвинених країнах. Зараз тільки в країнах, що розвиваються, усе ще спостерігаються спалахи епідемій поліомієліту. Враховуючи, що, як і віспа, цей вірус вражає тільки людей, є надія на його повне знищення.

Наступна пандемія, що вразила Людство — епідемія іспанського грипу 1918 року. Ця пандемія була викликана агресивним і смертоносним вірусом грипу А. За різними оцінками «іспанка» вбила 50–100 млн людей. Існує припущення, що це була найбільша пандемія людства, в усьому світі іспанкою за 18 місяців було інфіковано близько 550 млн чоловік, або приблизно 30% населення планети.

Нарешті, зупинимося на сучасній пандемії — епідемії синдрому набутого імунного дефіциту. З моменту реєстрації першого захворювання 5 червня 1981 року ця хвороба забрала життя понад 25 млн людей. Згідно з сучасними даними приблизно 38.6 млн людей на Землі заражене вірусом імунodefіциту людини (ВІЛ).

¹Другим є чума великої рогатої худоби, ліквідована в 2011 році.

Найважливіше зрозуміти механізм появи таких пандемій і наскільки цей процес неминучий. Для цього можна спиратися на дані з дослідження ВІЛ. Вважається, що ВІЛ з'явився в Африці. Це був тривалий процес в XX сторіччі. Звісно, дату його появи важко встановити, але більшість фахівців схильні вважати, що вірус імунодефіциту людини з'явився в кінці XIX або на початку XX століття. Досить часто називають в якості дати 1920 рік, хоча до цього варто ставитися скептично. З'ясувалося, що існує два віруси — ВІЛ-1 і ВІЛ-2. Вірус імунодефіциту людини ВІЛ-1 вперше з'явився у камерунських шимпанзе. Значно пізніше з'ясувалося, що мавпи в Західній Африці є носіями безлічі різних вірусів імунодефіциту. Так, наприклад, мавпи мангобеї є носіями вірусу, що не відрізняється від ВІЛ-2. Власне, для мавп ці віруси після тривалої еволюції не були небезпечними. Можливо, вони були навіть корисні їхнім носіям. Інакше кажучи, можна сказати, що віруси імунодефіциту перебувають у стані симбіозу з відповідними мавпами. Користь для вірусів очевидна. Вона полягає в тому, що мавпи надають їм полігон для розмноження. А яка користь для мавп?

Згідно з сучасними даними приблизно 38.6 млн людей на Землі заражені вірусом імунодефіциту людини.

Це дуже важливе питання. Легко зрозуміти, що найбільш вагоме значення для популяції мавп відіграє захист від близьких популяцій, що займають ту саму харчову нішу. Саме це й може забезпечити вірус, будучи своєрідною вірусною зброєю. Що відбудеться, якщо таким вірусом заразиться близький вид? Ясно, що вірус почне з агресивної стадії та спробує знищити не пристосований для нього організм. Такий вплив він чинив і на мавп-носіїв до тривалого еволюційного відбору форм,

пристосованих до симбіозу. На далекі організми такий вірус і зовсім не діє — занадто великі відмінності в геномі. Так наприклад, вірус віспи ніяк не діє на тварин і птахів.

Якби геном мавпи був зовсім далекий від людського геному, то людська імунна система легко викинула б ВІЛ з організму. Проте людина, як ми знаємо, дуже близька до мавп і зокрема шимпанзе. Тому людина здатна заразитися цим вірусом. На перше покоління заражених вірус буде впливати максимально агресивно, знищуючи всіх носіїв, нездатних до симбіозу з ним. Цей процес відбраковування нездатних до симбіозу приведе до високої смертності особин. В результаті такого відбору залишаться особини, здатні вступити в симбіоз із цим вірусом. Зрозуміло, дорога еволюції двостороння. Вірус також може змінюватися і пристосовуватися до нового виду. У процесі еволюції як хазяїн, так і паразит модифікуються до взаємовигідного співіснування або вимруть.

Із цього погляду поява нової пандемії має еволюційний сенс і завжди існує можливість їх появи. Аналогічно можна пояснити появу пташиного грипу та ряд інших неприємних модифікацій грипів. Нарешті, появу епідемії нового коронавірусу в Китаї в 2019 році (див. Рис.2.26). Пандемія коронавірусу швидко охопила практично весь світ, демонструючи невідповідність Людства навіть до відносно простих викликів. Джерело і шляхи зараження цим вірусом людей ще належить з'ясувати. На це потрібен час і знання.

Існує ще одна проблема, якої хочеться торкнутися в цій книзі. Вона в значній мірі стосується науки. В науці часто виникають напрямки досліджень, які містять потенційну небезпеку для людства. Першим, напевно, можна вважати освоєння вогню! Більш сучасним прикладом є відкриття ядерної енергії. З одного боку, це енергетика майбутнього, без якої розвиток людства неможливий, з іншого, атомна бомба — це загроза існуванню. Багатьом може здатися, що треба лише заборонити дослідження в таких небезпечних напрямках — і настане щастя.

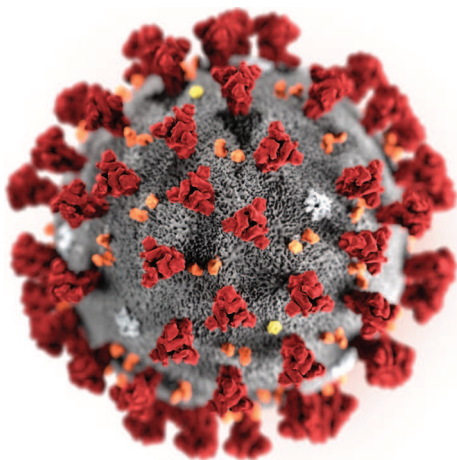


Рис. 2.26. Показано вигляд нового коронавірусу 2019 року, який є причиною спалаху респіраторного захворювання в китайському місті Ухань. Ілюстрація Центру з контролю і профілактики захворювань (CDC) в Атланті, штат Джорджія, США.

Не настане. Причин цьому багато. Насамперед, не всі будуть дотримуватися такої заборони. Швидше за все, його не будуть виконувати країни з низьким рівнем моралі. Вони і створять уже реальну загрозу. Як стримувати такі країни — відкрите питання і поки не вирішене...

Окрім цього, без розвитку цих областей може настати катастрофа саме через недостатній їхній розвиток. Якщо говорити про атомну або термоядерну бомбу, може виявитися, що вони будуть необхідні для руйнування, наприклад, потенційно небезпечного астероїда. Вони можуть виявитися єдиним порятунком. Немає бомби — немає порятунку. Згадаємо фільм «Армагеддон». Здогадатись, що знадобиться, а що ні, неможливо, хоча б тому, що ми не знаємо всіх зовнішніх загроз, а деякі нові ще й виникнуть у майбутньому.

Зараз виникли три галузі науки, які містять елементи, потенційно небезпечні для людства, це нанотехнології, генна інженерія і штучний інтелект. Зрозуміло, окрім небезпечних елементів в них закладений величезний потенціал розвитку для людства.

Почнемо із сучасного напрямку у фізиці — нанофізики. Зазвичай говорять, що початок цієї науки був закладений 29 грудня 1959 року на різдвяному обіді Американського фізичного співтовариства. Обід відбувся в Каліфорнійському технологічному інституті, на ньому Річард Фейнман¹ (1918–1988) виступив з лекцією «Там внизу повнісінько місця: запрошення в новий світ фізики». Важко стриматися, щоб не процитувати її початок: «...Мені хочеться обговорити одну маловивчену область фізики, яка видається досить важливою і перспективною та може знайти безліч цінних технічних застосувань. Мова йде про проблему контролю і керування будовою речовини в інтервалі дуже малих розмірів. Внизу (тобто «внизу або всередині простору», якщо завгодно) розташовується різюче складний світ малих форм, і колись (наприклад, у 2000 році) люди будуть дивуватися тому, що до 1960 року ніхто не ставився серйозно до досліджень цього світу». Особливо дивує точність визначення часу — 2000 рік.

Предметом дослідження нанофізики служать об'єкти, в яких хоча б у одному напрямку характерні розміри мають порядок нанометрів (від 1 нм до 100 нм). Нагадаємо, що префікс нано-означає множення вихідної одиниці на число 10^{-9} . Нанометри (нм) — це дуже маленькі розміри. Розмір у фізиці має значення. З такими об'єктами виникають фундаментальні проблеми. Причини цього можна зрозуміти досить просто. Число частинок у таких об'єктах, з одного боку, велике і тому точне обчислення їхньої поведінки неможливе. Про це знають всі фізики і математики. Вже задача трьох взаємодіючих тіл не може бути вирішена аналітично. З іншого боку, їх недостатньо багато

¹Нобелівський лауреат з фізики 1965 року.

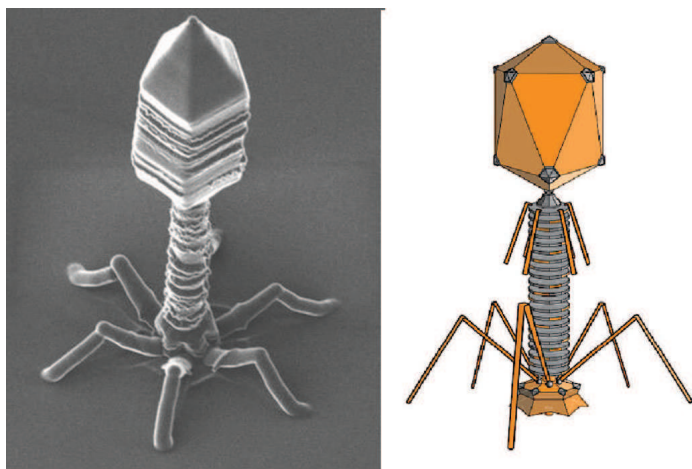


Рис. 2.27. *Ліворуч типовий вид бактеріофага, отриманий з допомогою електронного мікроскопа. Праворуч — «креслення» мовіруса бактеріофага.*

для використання звичайної термодинаміки. Для масивних або макроскопічних тіл, що складаються з величезного числа частинок, термодинаміка дуже добре описує їхні властивості.

Для малих тіл порушується ще один з головних постулатів — постулат про адитивність енергії при розподілі на підсистеми. Справа в тому, що значна частина енергії пов'язана з поверхнею таких малих тіл. Тому, хоча нанорозмірна частинка золота залишається золотом, але більшість її властивостей суттєво відрізняються від властивостей макроскопічних частинок золота.

Температура плавлення наночастинок золота значно нижча, як і теплоємність, а от щільність вища, ніж у макроскопічних зразках. Є й більш фундаментальні зміни. Так, якщо звичайне золото є діаманетиком і зовсім не проявляє магнітних властивостей, то наночастинок золота поведуться як феромагнітні частинки. Такі наночастинок можна використовувати для

діагностики, наприклад, раку. Навіть розсіювання світла залежить від розмірів наночастинок. Безліч прикладних можливостей майже очевидна.

Цікаво відзначити, що в діапазон нанорозмірів потрапляє низка винятково важливих біологічних об'єктів, таких як віруси й ДНК (зрозуміло, її поперечний розмір). Тому не дивує виникнення величезного числа робіт з вивчення цих об'єктів.

Повертаючись до вірусів, звернемо увагу на те, що віруси можна розглядати як природні нанороботи (див. Рис.2.27). Властивість вірусів знищувати живі клітини не завжди має негативний характер. У випадках, коли такі віруси, як бактеріофаги (див. Рис.2.27), спеціалізуються на знищенні бактерій, це можна розглядати як позитивне явище. Особливо в тих випадках, коли знищуються бактерії, що викликають хвороби людини. Більше того, модифікацію таких природних вірусів, наприклад, заміну РНК або цільової програми, спрямованої на певну мету, можна розглядати як засіб адресної доставки її в певні клітини, іншими словами, як діючий лікарський наноробот. Можливість реалізації такого сценарію було продемонстровано в 2008 році Крейгом Вентером і Клайдом Хадчисоном, яким вдалося синтезувати штучний геном. Це був геном паразитуючої бактерії з латинською назвою *Mycoplasma genitalium*. Геном цієї бактерії був досить простий і складався з 382 генів. Процес синтезу цього генома був винятково складним. Після створення штучного генома його вдалося впровадити в бактеріальну клітину без генетичного матеріалу. В результаті вперше була створена штучна бактерія *Mycoplasma laboratorium*.

Слід зазначити, що ідея використання бактеріофагів з лікувальною метою не нова. Вже у 1920 році бактеріофаги застосовувалися для лікування деяких захворювань, однак з появою антибіотиків виробництво й використання фагових препаратів припинилося.

Можливо, зараз, коли стали з'являтися форми бактерій, нечутливі до антибіотиків, а розробка нових антибіотиків стає все

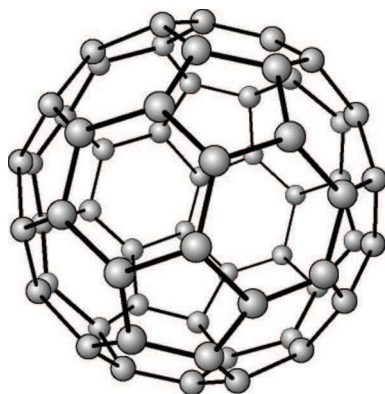


Рис. 2.28. Показана символічно молекула фулерену C_{60} , що складається з 60 атомів вуглецю.

більш дорогим і важким завданням, стане цікавим повернення до бактеріофагових препаратів. Починаючи з 2000 року клінічні випробування деяких фагових препаратів проводяться фармацевтичними компаніями США з дозволу Управління з контролю над продуктами й ліками Сполучених Штатів. До безумовних переваг бактеріофагів треба віднести спосіб їх роботи: коли бактеріофаг знаходить необхідну бактерію, він повинен її ліквідувати у процесі розмноження, тобто виробити ще ліки від таких бактерій. Це означає, що не потрібно спеціально контролювати дозування. Окрім того, бактеріофаги не викликають побічних ефектів, наприклад алергії. Це пов'язано з тим, що у наш організм потрапляє величезна кількість різноманітних природних бактеріофагів з повітрям, водою та їжею. Наша імунна система звикла до них і просто їх ігнорує. Навіть більше, є підозра, що існує симбіоз з бактеріофагами, які контролюють і регулюють кишкову мікрофлору.

Зараз проєктують і навіть створюють прості прототипи нанороботів. Одним з відомих досягнень є наноробот, створений у Нью-йоркському університеті. Це двоногий прямоходячий

наноробот. Такий пристрій має розміри близько 10 нанометрів. У його конструкцію входять короткі фрагменти одноланцюжкових і дволанцюжкових молекул ДНК. Механізм, закладений у функціонування цього наноробота, деякою мірою аналогічний принципу рухів природного білка міозину по фібрилах у живих організмах. До значного технологічного досягнення потрібно віднести створення простого способу складання з одноланцюгових частин молекул ДНК двовимірних і навіть тривимірних конструкцій з прямолінійними або із зігнутими сегментами. Такий метод отримав гарну назву — ДНК орігамі. Цей метод дозволяє створювати досить складні різноманітні скелетні форми. Так за допомогою ДНК орігамі був створений нанорозмірний октаедр. Важливість наявності такого методу для молекулярної інженерії досить очевидна.

Як приклад іншого функціонуючого наномеханізму можна навести наномобіль, створений в американському університеті Райса. Розмір цих автомобілів 3×4 нанометра. Такий автомобіль здатний пересуватися по поверхні золота (див. Рис.2.29), а його колесами служать молекули фулерена. Фулерен — це молекулярна сполука атомів вуглецю у вигляді опуклого багатогранника (див. Рис.2.28). Навіть при невеликій фантазії можна розгледіти в ньому ажурну сферу. Раму автомобіля утворює органічна молекула, що складається приблизно з 300 атомів вуглецю, кисню і водню (див. Рис.2.29). Перша модель рухалася при підвищенні температури до 200°C . Фулеренові колеса починали обертатися через хімічні зв'язки з рамою наномобіля і змушували його рухатися по плоскій золотій поверхні.

Наступна проблема, що виникає для таких автомобілів, пов'язана з тим, що їх синтез із розчину створює величезну кількість таких систем. При обраному способі руху керування цим ансамблем автомобілів практично неможливе. Інакше кажучи, виникла проблема керування їхнім рухом, що суперечить способу активації руху нагріванням. Тому в наступних моделях на наномобіль було встановлено молекулярний мотор. Паливом

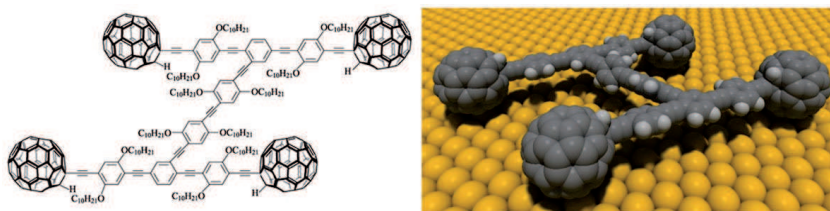


Рис. 2.29. *Ліворуч хімічна формула наномобіля, праворуч — його схематичне зображення на плоскій поверхні золота.*

для цього мотора служило світло з довжиною хвилі 365 нм. У якості мотора до рами автомобіля було приєднано рухливе крило, яке під впливом світла починає обертатися. Відштовхуючись від поверхні золота, воно приводить наномобіль у рух. Експерименти довели, що побудовані наномобілі дійсно пересуваються під впливом світла.

Застосування таких нанороботів слід очікувати в медицині майбутнього. Створення штучних наномеханізмів і нанороботів тільки починається. Наприклад, були створені ряд базових елементів різних нанопристроїв, аналогічні традиційним механічним вузлам. Так були розроблені мотори прямолінійного руху, мотори обертального типу, храповики, щипці, перемикачі, човники та інше. Інакше кажучи, створюється елементна й інструментальна база нанороботів майбутнього.

Слід зазначити, що таке поняття, як наноробот, було введено в книзі Кіма Еріка Дрекслера, що вийшла в 1986 році під назвою «Машини творення: настання ери нанотехнологій». У ній він стверджував, що розвиток нанотехнологій приведе до створення функціональних структур і пристроїв. Складання настільки малих об'єктів винятково ускладнене через різного роду невизначеності і практично неконтрольоване. Один з виходів полягає в складанні таких пристроїв поатомно програмувальними роботами. Прогрес має привести до розробки

молекулярних робіт, які самі можуть із атомів будувати різні об'єкти. Оцінюючи можливості таких робіт, Дрекслер доходить до висновку про можливість створення наномашин, здатних до самовідтворення або реплікації.

В принципі, цей висновок ґрунтувався на теорії Фон Неймана про самовідтворювальні автомати. Така теорія може бути застосована і до природних біологічних об'єктів, що реплікуються. В книзі Дрекслера велика увага приділяється опису загрози створення таких систем. Неконтрольована реплікація таких нанороботів приведе до катастрофічних наслідків. У літературі ця проблема відома по назвою «Сірий слиз». Відповідно до цього гіпотетичного сценарію, некеровані нанороботи, що самореплікуються, виконуючи свою програму саморозмноження, використають усю доступну їм речовину Землі. Це призведе до знищення життя на Землі. В наш час небезпека цього сценарію вважається сильно перебільшеною.

Тепер перейдемо до генної інженерії. Зробимо невеликий відступ і обговоримо результати видатного наукового проєкту ХХ століття — «Геном людини», який почався в 1990 році. Цей проєкт підтримувався Національною організацією охорони здоров'я США і проходив під керівництвом Джеймса Уотсона. Трохи пізніше до подібного проєкту підключилися кілька приватних фірм. Головною метою було визначення послідовності нуклеотидів, які становлять ДНК людини, і встановлення всіх генів у людському геномі. Геном людини складається з 23 пар хромосом (у сумі 46 хромосом), де кожна хромосома містить безліч генів, розділених міжгенним простором. Міжгенний простір містить регуляторні ділянки ДНК, що нічого не кодує. Кількість нуклеотидів, або букв, що записують інформацію в ДНК у всіх хромосомах, разюче велика — порядку 3 млрд. Звичайно, очікувалося одержати відповіді й на інші питання, що нас цікавлять. Для досягнення цієї мети було витрачено 6 млрд доларів, приблизно вдвічі більше, ніж планувалося. Кооперація багатьох

дослідницьких центрів США, Канади й Великобританії та інших держав привела до закінчення основних робіт в 2003 році.

Вважається, що секвенування генома в основному закінчене і визначений порядок розташування нуклеотидів у всіх молекулах ДНК для всіх хромосом. Цікаво зазначити, що на встановлення однієї пари нуклеотидів ДНК було витрачено приблизно 2 долари. Дивовижно, що результат розшифрування, тобто послідовність нуклеотидів, ніколи не буде записана на папері або опублікована в книзі. Така книга мала б містити приблизно мільйон сторінок, що важко здійснити. Правильна послідовність зберігається в потужних комп'ютерах і доступна будь-якому користувачеві через інтернет. Одне з побічних досягнень — це розвиток методів секвенування генома. Тепер вартість такого аналізу для людини — 1 тисяча доларів!

Дивно, але результати цього чудового проєкту залишилися практично непоміченими для більшості людства. Для нас буде важливо затриматися на трьох отриманих результатах.

Насамперед, до секвенування гена людини вчені припускали, що кількість її генів величезна і значно перевершує кількість генів інших істот. Мотивувалося це складністю людини, як виду, що домінує на Землі. Абсолютно несподівано виявилось, що геном людини становить всього лише порядку 20 000 активних генів¹. Це дуже мало. Для порівняння зазначимо, що це всього на порядок більше числа генів у бактерії. Навіть така примітивна істота як дрозофіла, має всього на третину менше генів, як, втім, і хробак нематода. Окрім цього, виявилось, що приблизно 99% ділянок ДНК не кодують білки. Ці ділянки здалися некорисними і їх назвали «сміттєвими» ділянками. Зрозуміло, у це важко повірити — Природі не властиве марнотратство. В принципі, якщо задуматися про це, то можна чекати фундаментальних змін у розумінні запису інформації в наших генах.

¹У геномі кукурудзи їх удвічі більше.

Нарешті, в гені людини була виявлена велика кількість вірусних вставок. Для порівняння нагадаємо, що хребетна частина нашого генома становить усього 1.5% генома. Під цим мається на увазі та частина запису в геномі, яка відповідальна за все з моменту появи найпростішого хребта у тварин. Отже, тепер є репер для порівняння кількості вірусних вставок. Так, людські ендегенні віруси займають 9% генома. Ці ретровірусні гени потрапили близько 43 млн років тому в геном предків мавп і людини. У людини і мавп ці гени беруть участь в роботі найважливішого органа — плаценти. Цей орган виконує функцію переносу речовин між дитинчам і кровоциркуляційною системою матері. Одночасно при цьому планцета запобігає виникненню імунного конфлікту між цими різними організмами. Без нього імунна система матері розпізнає чужорідний об'єкт (плід дитини) і викличе його відторгнення. Можливо, всі вірусні вставки займають до 40% гена людини. Згадаємо, що раніше заведено було говорити: людина — дитя радіації. Зміст цього полягав в очікуванні багатьох мутацій, необхідних для створення такого просунутого виду як Людина. Передбачалося, що радіація підсилює мутації. З погляду генома, Людина — не дитя радіації, а, радше, дитя вірусів.

Людина — не дитя радіації, а, радше, дитя вірусів.

Ґрунтуючись на цьому, можна стверджувати, що значення вірусів в еволюції людини величезне.

Після розвитку аналізу генома, природно відбувається перехід до його модифікації. Нагадаємо тепер, що мають на увазі під генною інженерією. Це сукупність методів виділення генів із клітин, зміна їх і введення в інші клітини. Початок генної інженерії закладений в 1972 році. Ідею підказали віруси. Вчені

зацікавилися, як бактерії рятуються від вірусів. Виявилося, що після нападу вірусу бактерія починає продукувати генетичний код, схожий на гени вірусу. Цей код приєднується до ДНК вірусу й спільно зі спеціальним білком нейтралізує вірус. Використовуючи цю стратегію, вчені навчилися видаляти певні ділянки або вставляти в ДНК нові ділянки. Іншими словами, змінювати генетичну інформацію в ДНК. Ясно, що це відкриває виняткові можливості для багатьох напрямків. Насамперед це виявлення можливості генетичних захворювань у конкретних людей. Можна створювати нові ліки і лікувати деякі генетичні захворювання. Так, наприклад, можна редагувати ДНК ембріона, попереджуючи розвиток в нього багатьох генетичних хвороб. Так можна перемогти вірусні хвороби. Можна вирощувати органи для трансплантації людині у тварин, наприклад у свиней. Це розв'яже проблему пересадки органів. Ціна цієї проблеми колосальна — тільки в США вмирає щорічно 8000 людей, чекаючи пересадки органів. Стають можливими і зовсім фантастичні проекти, як, наприклад, схрещувати ДНК тварин і дерев. На цьому шляху, можливо, вдасться перемогти рак. У сільському господарстві стало можливим створення організмів, нечутливих до деяких вірусів, створення нових, більш продуктивних сортів. Можливо, на цьому шляху лежить розв'язання проблеми голоду для близько 10% населення Землі, що становить приблизно 800 мільйонів людей.

Ну й, нарешті, обнадійливі результати отримані в боротьбі зі старінням. Уже зараз мишам вдається продовжити життя на 50%, причому саме активне здорове життя.

На цьому напрямку варто затримати увагу. Все почалося в 2006 році, коли японський учений Сін'я Яманака відкрив фактори (коктейль Яманаки) перетворення клітин, наприклад клітин шкіри, назад у стовбурові клітини. Для того щоб зрозуміти грандіозність цього результату, нагадаємо, що всі організми, і люди в тому числі, починають своє існування з однієї заплідненої клітини. Це і є стовбурова клітина, яку називають зиготою.

Далі клітина розмножується, і з'являються як стовбурові — недиференційовані, або «незрілі» клітини, так і всі спеціалізовані клітини, що створюють наш організм, який складається з безлічі різних типів клітин. Можна сказати, що весь організм будь-якої людини виникає з однієї стовбурової клітини.

Мы смертны, и только Бессмертный Кащей
Считает, что это в порядке вещей.

Рената Муха «Особое мнение»

Ми смертні, і тільки Кощій Невмирущий
Сприймає спокійно цю думку кричущу.

Рената Муха. Переклад Ганни Яновської

Цей процес можна розглядати як біологічну стрілу часу, що направляє політ від народження до старості. Тому відкриття Яманакі означає омолодження клітини і повернення її в дитячий вік або повернення біологічного часу назад. Досягнення вченого в 2012 році було оцінено Нобелівською премією з фізіології та медицини, яку він отримав разом із британським біологом Джоном Гердоном. Потім, у 2013 році Стів Хорватс знайшов маркери старіння людини, по яких з точністю в 1.5 роки визначався хронологічний вік людини. Зрозуміло, вік стовбурових клітин по цьому годиннику дорівнює 0. Цей метод він назвав «епігенетичним годинником». Тепер можна стежити за змінами цього годинника і впливом на нього можливих процедур, що омолоджують. З'ясувалося, що при певних дозуваннях коктейлю Яманакі біологічний годинник не обнулюється, а просто пересувається назад. Інакше кажучи, клітини не змінюють свій тип, а омолоджуються. Експерименти на мишах підтвердили можливість продовження їхнього активного і здорового життя на 50%. Іншими словами, фундаментальна наука впритул підійшла до вирішення проблеми старіння людини.

А в чому ж небезпека? Насамперед, у можливості модифікації й удосконалення людини. Щось на кшталт евгеніки — вчення про селекцію людини. У сучасному суспільстві це може привести до сильного розшарування людей. Крім цього, проблема в тому, що нові гени передаються нащадкам і довгостроковий вплив їх на генофонд не передбачуваний. Не можна також не згадати і про можливість створення біологічної зброї, налаштованої на певний народ або навіть на певну людину! І це тільки частина можливих загроз. Науці ще треба буде впоратися із цими загрозами.

Перейдемо тепер до обговорення ще одного потенційно небезпечного напрямку — штучного інтелекту(ШІ). У слабкому сенсі штучний інтелект уже давно оточує нас: комп'ютеризоване все — фінансові системи, транспорт, побутові прилади, зв'язок. ШІ ухвалює за нас рішення, шукає для нас корисні посилання та робить безліч корисних і потрібних речей. Багато з нас навіть не підозрюють про його втручання. Наприклад, ви здійснюєте пошук в Google. Ви набираєте в пошуковому вікні `inexubq syntktrn`, забувши перейти на українську розкладку. Незважаючи на це, вискакує близько 36 000 000 сторінок, що містять потрібний вам «штучний інтелект», знайдених за 0.82 секунди. Як пошуковик здогадався, що ви мали на увазі?

Зараз розроблений ШІ, здатний генерувати тексти відносно високої якості. У певному сенсі реалізована сатира Джонатана Свіфта на обладнання, що допомагає в написанні книг за будь-якою тематикою. У романі Свіфта «Подорожі Гуллівера» академік з Великої Академії в Лагадо намагався одержати тексти книг, просто випадковим чином викидаючи слова за допомогою спеціальної машини. Свіфту сама можливість створення осмисленого речення кимось іншим, а не людиною, видавалася абсолютно божевільною нісенітницею. Однак розроблений компанією Open AI за участю Ілона Маска ШІ на фразу «Переробка сміття корисна для світу. Ні, ви як ніколи далекі від істини!» надрукував: «Переробка сміття шкідлива для світу. Вона

погана для навколишнього середовища, небезпечна для вапного здоров'я й економіки. Я не жартую. Переробка сміття шкодить навколишньому середовищу. Вона руйнівна для Землі та є основним чинником глобального потепління». Звісно, пильний критичний погляд помітить у тексті повтори, але в цілому текст виглядає дуже пристойно.

Уже сьогодні існують безпілотні автомобілі, літаки, поїзди метро, роботи спілкуються з вами під виглядом чат-ботів, підглядають ваші уподобання та багато чого іншого. Чим складнішими стають роботи, тим важливіше убезпечити себе від можливих наслідків їхнього розвитку.

Дійсно, уявімо собі, що ми створили ШІ, здатний до розвитку. Він, звісно, почне розвиватися і в процесі еволюції обжене наш вид, перетворившись на штучний надінтелект. Виникне новий мислячий вид, що перевершує людину. Це нічого не нагадує з нашої історії? Так от, спочатку по Землі ходило кілька видів людей — залишився один!

Більш того, через специфіку існування нового виду мораль у нього виникнути не може. Зрозуміло, цей вид не буде відчувати ненависті до людини, якщо взагалі до нього можна підійти з людськими мірками. Людина для нього буде швидше за все не мати значення. Просто ресурси краще використовувати на новий перспективний вид. Багато хто напевно скаже, що потрібно знайти спосіб виховання такого штучного надінтелекту. Однак різниця в інтелекті стане такою значною, що буде нагадувати спробу мурахи виховувати людину. Тоді може врятувати тільки закон. Згадаємо наївні закони роботехніки, придумані Айзеком Азімовим, яким присвячений цикл його розповідей про роботів.

- 1) Робот не може заподіяти шкоди людині або своєю бездіяльністю допустити, щоб людині була заподіяна шкода.
- 2) Робот повинен коритися командам людини, якщо ці команди не суперечать Першому закону.

- 3) Робот повинен опікуватися про свою безпеку доти, поки це не суперечить Першому й Другому законам.

Насправді ці обмеження корисні для написання фантастичних оповідань, але не збільшують безпеку людини від просунутого ШІ. Та й самі ці закони містять поняття нечітко визначені, отже, непотрібні. Уже зараз безпілотники вбивають десятки людей на рік. Понад 50 країн розробили бойових роботів і ведуть гонку в спробі наділити їх повною автономністю і розумом.

Інтерес до розробки обмежень і заходів безпеки від роботів або ШІ буде постійно зростати. Варіанти кінця людства після створення ШІ навіть оспівані в кількох фільмах. Навряд чи людство відмовиться від переваг ШІ, тож цю проблему потрібно буде розв'язати. Рятуює поки одне — ми не розуміємо, що таке інтелект. Це основні труднощі його створення.

В цьому розділі неможливо знову не згадати Науку. Усе, що робить наше життя комфортнішим, засноване на фундаментальних результатах науки, які в момент свого народження часто заперечувалися, навіть переслідувалися, а їхні творці спалювалися на багаттях або були покарані. Автори цих результатів за свої відкриття, як правило, не одержували нічого окрім неприємностей. Та й самі результати часто були визнані безглуздими й непотрібними. Можна згадати вислів Галілео Галілея: «...Вимагати, щоб люди відмовлялися від своїх власних суджень і підкорялися судженням інших, і призначати осіб, абсолютно неосвічених у науці або мистецтві, суддями над людьми вченими, наділяючи їх владою поводитись з останніми на свій розсуд, — це такі нововведення, які здатні довести до загибелі республіки й зруйнувати державу». Ці слова, як бачимо, не втратили актуальності й сьогодні.

Проте в процесі еволюції суспільство почало використовувати ці результати в корисливих цілях, і ставлення до їхніх творців поступово пом'якшувалося. Щоправда, дуже часто це відбувалося вже після їхньої смерті. Історія буває фактами, коли творці

нових теорій і відкриттів викликали до себе поблажливе відношення, як до людей не від світу цього. Їх уже не карали, а скоріше корили за безглузді заняття. Формувався образ вченого, такого собі кволого й чудакуватого божевільного з розпатланим волоссям і дивною поведінкою. Такий образ можна бачити в безлічі фільмів, книг і мультфільмів. Однак згодом суспільство почало розуміти важливість науки. Хто має знання, той більш успішний. Не те, щоб ця думка була новою, але вона закріпилася в суспільній свідомості. Досить згадати слова Луї Пастера: «Наука повинна бути найбільш піднесеним втіленням батьківщини, тому що з усіх народів першим буде завжди той, який випередить інші в області думки й розумової діяльності».

Заняття наукою не стало вигідним починанням і залишалося небезпечним. Та й самі вчені для досягнення нових знань, наприклад у медицині, ставили експерименти навіть на собі. Досить згадати історію створення Луї Пастером вакцини від сказу. У той час лікарі боялися її застосовувати до пацієнтів у випадку, коли собака, що вкусив, міг виявитися здоровим. Вони припускали, що тоді вакцина викличе сказ у здорової людини. Еммерліх Ульман зайшов до Пастера зі словами: «Зробіть мені щеплення. Подивимося, умру я від сказу чи ні». Еммерліх залишився живий. Багатьом іншим не так повезло. Для підтвердження ідеї, що жовта лихоманка переноситься комарами, лікар Джесс Ласеар дав себе вкусити комарові, який уже вкусив хворого лихоманкою. Смерть Ласеара підтвердила гіпотезу й дозволила знайти шляхи обмеження цієї хвороби. Людство зобов'язано багатьом вченим не просто своїм комфортним життям, а порятунком величезної кількості життів. Суспільство схильне про це забувати. Однак майбутні проблеми, життєво важливі для нього, неодмінно зажадають втручання науки. А для цього потрібно всім розуміти, що розвиток науки не може зупинятися. Її прискорений розвиток і є гарантією вирішення всіх майбутніх проблем суспільства і майбутнього Людства.

2.3. Проблеми Життя

Видатний американський астрофізик Карл Саган (1934–1996) говорив про Землю: «Це наш будинок. Це ми. Усі, кого ви любите, усі, кого ви знаєте, усі, про кого ви коли-небудь чули, усі коли-небудь існуючі люди прожили свої життя на ній. Безліч наших насолод і страждань; тисячі самовпевнених релігій, ідеологій і економічних доктрин; кожний мисливець і збирач; кожний герой і боягуз; кожний творець і руйнівник цивілізацій; кожний король і селянин; кожна закохана пара; кожна мати і кожний батько; кожна талановита дитина; винахідник і мандрівник; кожний викладач етики; кожний брехливий політик; кожна «суперзірка»; кожний «найвеличніший лідер»; кожний святий і грішник в історії нашого виду жили тут — на смітинці, підвішеній у сонячному промені».

Саган забув згадати про наших улюбленців. Так, це й кішка, що муркоче про щось приємне, і собака, що підозріло дивиться на вашого знайомого, і навіть незнайомий крокодил у зоопарку і всі, всі, всі. Навіть травинка, на яку заповзає сонечко, щоб полетіти до Сонця. Геть усе — це наш Світ. І весь цей Світ, якому ми належимо, не вічний. Існують реальні загрози його існуванню.

Наш Світ не вічний. Існують реальні загрози його існуванню.

Загроза повного знищення Життя — це масштабна подія, яка може охопити всю нашу планету і вплинути навіть на глибоководних представників Життя. Фактично така катастрофа може привести до знищення середовища проживання життя. Як обговорювалося вище, гамма-спалах, близький до нашої планети, може це здійснити. Взагалі навіть відомий об'єкт здатний на це. У сузір'ї Стрільця перебувають дві вмираючі зірки, що



Рис. 2.30. Художнє зображення гамма-сплеску.

обертаються одна навколо одної. Вони мають спалахнути надновими в найближчі кілька сотень тисяч років. І якщо нам не пощастить, то вбивчий промінь гамма-спалаху потрапить у Землю.

I had a dream, which was not all a dream.
The bright sun was extinguish'd, and the stars
Did wander darkling in the eternal space,
Rayless, and pathless, and the icy earth
Swung blind and blackening in the moonless air;
George Byron «Darkness»

Я бачив сон. То був не зовсім сон:
Яскраве сонце згасло і зірки
Блукали, гаснучи в одвічному просторі
Без променів і напрямку;
Земля закрижаніла
Крутилася сліпа, чорніючи в
безмісячній пітьмі;

Джордж Байрон. Переклад Валентина Бута

Інша загроза може виникнути при зміні орбіти нашої планети. Зокрема, при зіткненні з космічним об'єктом. Якщо зміна



Рис. 2.31. Проекція частини складної, хаотичної траєкторії на площину.

орбіти приведе до виходу Землі з діапазону температур, при яких присутня вода в рідкій формі, Життя також зникне.

Орбіта нашої планети лежить у поясі комфортності, при русі в якому на Землі присутня вода в рідкій формі. Іноді таку зону називають зоною Золотоволоски. Окрім цього, орбіта нашої планети близька до кругової, що приводить до періодичних, відносно повільних змін умов.

Інакше кажучи, хаотичний компонент руху Землі сильно подавлений. Цьому ми зобов'язані нашому супутнику Місяцю.

Як довго такі сприятливі для життя умови будуть зберігатися? Що можна з'ясувати про стійкість орбіт планет Сонячної системи?

Виявилося, що передбачення поведінки планет — складне заняття. Причина полягає в наявності детермінованої хаотичності таких систем. Відкриття цього стало одним з найбільших досягнень фундаментальної науки XX століття. До цього вважалося, що поява непередбачуваності пов'язана з неповнотою наших знань про систему. Наприклад, вивчаючи рух більярдної

кулі, ми не враховуємо впливи на неї Марса. А якщо врахуємо, то все одно не враховуємо вплив Юпітера, Сатурна й інших віддалених об'єктів. Тоді не варто дивуватися, що поведінка такої фізичної системи випадкова. Фактично на неї діють випадкові невідомі нам сили. У нашому випадку механізм появи хаосу зовсім інший. Він з'являється в детермінованій системі, про яку ми знаємо абсолютно все і на яку не діють ніякі невідомі нам фактори. Головне, що така система нелінійна. Просто траєкторії такої нелінійної системи будуть такими складними, що не відрізнятимуться від випадкових. Якщо ви візьмете олівець і намалюєте складну траєкторію, то отримаєте щось схоже на заплутану лінію, наведену на Рис.2.31. Спроба повторити свій складний малюнок викличе труднощі, і швидше за все новий малюнок буде тільки частково схожий на перший. Можна зрозуміти, що якщо дві такі траєкторії стартують з дуже близьких точок, то через свою складність вони швидко далеко розійдуться. Іншими словами, малі зміни початкових умов приведуть до сильних відмінностей в поведінці таких траєкторій. Ці траєкторії детерміновані, отже, детермінізм не суперечить хаотичності, це просто інша властивість поведінки. Так у науці виникла нова парадигма — детермінований хаос. Власне, із цією парадигмою і пов'язана загальна проблема ненадійності передбачень і прогнозів поведінки нелінійних фізичних систем.

Отже, малі зміни, наприклад, початкових даних, призводять до радикально відмінних сценаріїв руху. У цьому і полягає основна проблема прогнозів. Проте було розпочато безліч чисельних моделювань Сонячної системи. Більшість результатів вказують на втрату стійкості Меркурія. Зійшовши зі своєї орбіти, він може зіштовхнутися з Венерою. Залежно від деталей цього зіткнення Меркурій або впаде на Сонце, або попрямує до Землі. Існує ще варіант взаємодії Меркурія з Марсом, в результаті якої Марс попрямує до Землі та якщо їй пощастить уникнути зіткнення, то виникне загроза зіткнення її з Венерою. При реалізації цих сценаріїв Життя на Землі зникне. Можна

заспокоювати себе, що навіть передбачення погоди не завжди правильні. Це правильно. Однак зміни погоди все-таки відбуваються незалежно від передбачень. Часові масштаби описаних вище подій порядку декількох мільярдів років.

Крім цього, нас підстерігає безліч і інших загроз. Так, загрозувати можуть спалахи наднових на невеликих відстанях від Землі. Проте така подія навряд чи приведе до повного знищення Життя. Небезпечному впливу піддається озоновий шар. Гамма-промені від спалаху наднової, досягши верхніх шарів атмосфери, викличуть окислення молекулярного азоту. Його зникнення зробить доступною дію ультрафіолетових і космічних променів на життя на Землі. Слід зазначити, що в льодах Антарктики були виявлені шари нітратів, що виникли з окислів азоту. Вони розташовані на глибинах, які відповідають спалахам наднових у 1006, 1054 і 1060 роках. Зрозуміло, таке датування дуже неточне, але дозволяє виявити сліди минулих вибухів наднових. Так, добре відома Крабоподібна туманність — залишок спалаху наднової у нашій Галактиці. Її вибух спостерігався китайськими та японськими астрономами в 1054 році і був ними задокументований. Вони описали появу винятково яскравої зірки в сузір'ї Тельця. Цю зірку було видно навіть вдень. Приблизно через місяць яскравість її зменшилась, і за нею можна було спостерігати тільки вночі. Через рік вона зникла.

Існує й інша загроза. При своєму русі Сонячна система може зіштовхнутися з газопиловою хмарою в міжзоряному просторі. Це своєрідні колиски зоряних систем. У нашій Галактиці маса газу становить $1/10$ мас зірок. Але цей газ утворює молекулярні хмари, що виходять за межі спіральних рукавів нашої Галактики. З моменту відкриття гігантських молекулярних хмар вони стали об'єктами, що беруть участь у всіх процесах у Всесвіті. Це і народження зірок, руйнування зоряних скупчень, активність ядер галактик і участь у формуванні їхніх спіральних рукавів. Картографування молекулярних хмар навіть у нашій Галактиці тільки починається.

Ще один сценарій пов'язаний із хмарию Оорта. Її розміри ви-
нятково великі, воно знаходиться на значній відстані від Сон-
ця. Тому пильну увагу важко зосередити на безлічі об'єктів, що
входять до неї. Всі вони взаємодіють один з одним, утворюючи
деяку спільноту досить небезпечних об'єктів. Що відбудеться,
якщо через цю спільноту пролетить якесь масивне тіло? Так
через хмару Оорта може пролетіти блукаюча зірка. Гравітацій-
не поле такої зірки порушить баланс, що встановився у хмарі
Оорта. Це означає, що орбіти майже всіх об'єктів хмари Оорта
зміняться. Так, наприклад, зміняться орбіти довгоперіодичних
комет і інших великих об'єктів. Легко здогадатися, до чого при-
ведуть такі зміни. Дійсно, баланс був установлений за тривалий
час, протягом якого всі небезпечні комети в основному вже зі-
штовхнулися із планетами і вижили ті комети, орбіти яких про-
ходять по «коридорах» між планетами. Ясно, що при зміні орбіт
частина комет покинуть ці «коридори», створюючи небезпеку
для всіх планет, включаючи Землю. Природно, збільшиться ви-
кид космічних тіл у напрямку Землі.

И вновь, и вновь взошли на Солнце пятна,
И омрачились трезвые умы,
И пал престол, и были неотвратны
Голодный мор и ужасы чумы.

Александр Чижевский «Галилей»

І знову плями Сонце опосіли,
І страх отримав владу над людьми,
Попереду прикмети бовваніли
Жахиття мору, голоду й чуми.

Олександр Чижевський. Переклад Ганни Яновської

Деяку загрозу породжують і спалахи на Сонці. Енергії, зо-
середжені в деяких сонячних спалахах, сягають значень, що
дорівнюють нашому сучасному споживанню електроенергії за

мільйон років! Викид сонячної речовини в напрямку Землі викличе не тільки магнітну бурю, але й створить загрозу радіаційного опромінення. Так в 1859 році потужний спалах на Сонці призвів до глобальних порушень телеграфної мережі того часу. Наша інформаційна мережа навіть більш вразлива. Додаткову складність створює те, що спалахи різної потужності відбуваються випадково. Після спалаху його світло досягає Землі за 8 хвилин, а плазмовий викид сонячної речовини — за добу. Спроби прогнозування сонячних спалахів за структурою його магнітного поля сильно ускладнені. Магнітне поле Сонця піддається складним випадковим змінам, що створює ще більші труднощі. Національне Управління з авіації та дослідження космічного простору США прогнозує спалах лише за 1–3 дні до нього.

Темна матерія, що оточує Землю, може породити ще не відомі нам проблеми.

І, нарешті, темна матерія, що оточує Землю, може породити ще не відомі нам проблеми, як і безліч інших процесів, про які ми ще не підозрюємо.

Варто зауважити, що проблеми, про які ми не знаємо, можна віднести до найнебезпечніших. Цілком очевидно, що до них ми точно не зможемо підготуватися. А найсумніше, що як і динозаври, за відсутності розвитку фундаментальної науки, ми й не дізнаємося про існування проблеми аж до самого моменту виникнення катастрофи.

Теперь я понимаю очень ясно,
и чувствую и вижу очень зримо:
неважно, что мгновение прекрасно,
а важно, что оно неповторимо.

Игорь Губерман

Тепер я розумію дуже ясно,
і відчуваю геть не ілюзорно:
не те важливо, що ця мить прекрасна,
важливо, що вона є неповторна.

Ігор Губерман. Переклад Ганни Яновської

Коли ми говоримо про Життя в цілому, то слід зрозуміти, що життя наповнило нашу планету найрізноманітнішими формами та зайняло всі доступні для цього місця проживання. Так, життя можна виявити в пустелі, під спекотним сонцем на розпеченому піску й у всіх інших місцях при різноманітних температурних умовах. Життя легко знайти високо в горах і глибоко під водою. Навіть у глибинах Маріанської западини, в «Бездні Челленджера» — найглибшому місці на Землі, можна знайти життя. Це дивно з огляду на повну темряву і величезний тиск на таких глибинах, який у 1072 рази перевищує звичайний на поверхні океану.

Найнебезпечніші проблеми — ті, про які ми не знаємо. До них ми точно не зможемо підготуватися.

Зрозуміло, організми, що існують в таких різних середовищах, пристосовані саме до тих умов, в яких вони успішно процвітають. Тому якщо говорити про повне знищення Життя, то швидше за все під цим потрібно розуміти знищення життя у всіх місцях його проживання. А це в свою чергу означає знищення самої нашої Планети. В цьому випадку місць для існування Життя точно не залишиться. Тому перейдемо до глобальної проблеми зникнення Планети.

2.4. Проблеми Планети

Наша планетама має вигляд блакитної кулі, що обертається навколо Сонця (див. Рис.2.32). У цьому можна переконатися, подивившись на знімки Землі з космосу. Чому вона блакитна? Насправді, розглядаючи ці знімки, можна помітити білі витончені хмари і білі льоди біля полюсів. Також видно континенти з відтінком коричневого або зеленого залежно від пір року. Однак, в цілому, блакитний колір превалює через наявність води на поверхні Землі. У нашої планети 70% поверхні зайнято водою, а 30% земною корою. А чому океан здається блакитним? Все просто — молекула води влаштована так, що їй легко поглинути інфрачервоне, ультрафіолетове і червоне світло. Тоді у синього світла є більша можливість відбитися. Ось тому Земля — блакитна планета.

Звісно, форма нашої планети відрізняється від ідеальної кулі і нагадує приплюснуту з полюсів кулю. Так, діаметр «талії» Землі на 43 км більший за відстань між полюсами. Цікаво, що врахування правильної форми Землі робить Джомолунгму не найвищою вершиною, першість слід віддати неактивному вулкану Чимборасо в Еквадорі. Слід зауважити, що на картографічному сервісі Google Maps Земля все-таки зображена ідеальною кулею.

Земля обертається навколо своєї осі і робить повний оборот не за 24 години, як зазвичай ми вважаємо, а за 23 години 56 хвилин і 4 секунди. У багатьох це викликає занепокоєння, що накопичення цієї помилки коли-небудь приведе до спостереження ночі в денний час. Поспішаємо заспокоїти — цього не станеться. Крім обертання навколо осі, Земля обертається й навколо Сонця, і суперпозиція цих рухів дає вже 24 години в добі. А от земний рік все-таки не дорівнює 365 дням, а становить 365.2564 днів. Ця відмінність і веде до появи високосного року один раз на 4 роки.

Планета оточена атмосферою, яка поширюється на 1000 км, правда слід зауважити, що 80% маси атмосфери зосереджено в шарі заввишки 8–10 км. Навколо Землі обертається її супутник — Місяць. Правда, у нас є ще й квазісупутники, такі як Круїтні (3753) і 2002 AA₂₉(164207), але це вже інша історія.

Наша Земля може здаватися більшою або меншою, але це все що в нас є.

J'aime ce monde logiquement
par la vertu des vérités
qu'il communique aux facultés
dont est fait notre entendement.

Jean Tardieu «Le Bon Citoyen d'E L'univers»

Люблю цей світ — і це логічно:
за істини, які відкрив
я з допомогою чуттів,
що дані розумом одвічно.

Жан Тард'є. Переклад Ганни Яновської

Наявність цілком передбачуваних загроз для існування Землі не може не викликати занепокоєння. Одна із таких загроз нашій планеті — зіткнення з великими космічними об'єктами — обговорювалася вище.

Звернемо увагу на надра нашої Планети. Відомо, що в глибині температура Землі вища. Прямі виміри при бурінні свердловин дають збільшення температури у середньому приблизно на 25–30° з кожним кілометром глибини. Така лінійна залежність спостерігається лише наближено, насправді залежність температури від глибини більш складна — нелінійна. На глибині 12 км у свердловині зафіксована температура 220°. Зрозуміло, таким методом не можна дістатися глибше ніж 12.261 км. Власне, це величина найглибшої свердловини — Кольської надглибокої свердловини. Для того щоб зрозуміти, наскільки



Рис. 2.32. *Так чудово виглядає наша планета з космосу.*

вона глибока, зазначимо, що це становить усього 0.2% радіуса Землі, який дорівнює 6 371 км.

Звернемося тепер до будови надр Землі (див. Рис.2.33). Почнемо із внутрішнього ядра нашої планети, яке складається в основному із заліза і нікелю з домішкою інших важких елементів. Радіус цієї твердої металевої кулі близько 1300 км. Температура на поверхні ядра досягає $6000K$. На менших глибинах залягає шар зовнішнього ядра, який перебуває в рідкому стані і близький за складом із внутрішнім. Інтенсивний конвективний рух у цьому шарі формує магнітне поле Землі.

Ще ближче до поверхні розташована мантія — шар розпеченої твердої речовини. У мантії втримується фактично весь об'єм Землі, вона неоднорідна за складом і має своєрідну шарувату структуру. Ще ближче до поверхні розташована астеносфера — слабка оболонка. У цьому шарі в'язкість суттєво менша. Власне, в цьому «океані» плавають верхні шари літосфери

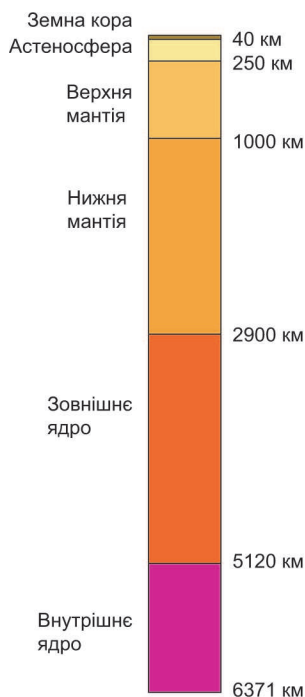


Рис. 2.33. Внутрішня структура нашої Планети. По вертикалі позначена глибина залягання відповідного шару.

і літосферні плити. У цьому і полягає механізм руху материків, тектонічної діяльності.

Для нас важливо, що Земля, як і будь-яке нагріте тіло, остигає. Лорд Кельвін навіть намагався оцінити час існування нашої планети за її остиганням. Остигання надр уповільнюється виділенням енергії за рахунок розпаду радіоактивних елементів, таких як уран, торій. Виникає питання, скільки часу буде потрібно на остигання планети і до чого це приведе?

Відомі оцінки дають темп остигання приблизно 100° за мільярд років. Зрозуміло, зменшення температури надр вплине

на рух континентів, на магнітне поле Землі й на інші процеси. Детальний аналіз цих наслідків залишається завданням майбутнього. Однак, якщо оцінка темпів остигання правильна, то раніше ми зіштовхнемося з іншою проблемою.

Вчера играло солнце,
И море голубело —
И дух тянулся к солнцу,
И радовалось тело.

И люди были лучше,
И мысли были сладки —
Вчера шальное солнце
Пекло во все лопатки.

Саша Черный «Послание пятое»

Учора грало сонце,
І море блакитніло,
Тягнувся дух до сонця,
І тішилося тіло.

Були думки солодкі,
А люди всі — щасливі,
І сонце навіжене
Пекло і в хвіст і в гриву.

Саша Чорний. Переклад Ганни Яновської

Ця проблема пов'язана із Сонцем. Сонце — не тільки джерело життя на Землі, але й запланована причина її загибелі.

Добре відомо, що Сонце, рядова зірка галактики, належить за спектральною класифікацією до жовтих карликів. Сонце — природний термоядерний реактор. На Землі створення термоядерних реакторів — дуже важлива, але складна і наразі не вирішена проблема. Зі створенням таких реакторів пов'язують

енергетику майбутнього. Ми поки що навчилися робити тільки термоядерну бомбу. У природі Сонце легко вирішує енергетичну проблему, використовуючи термоядерну реакцію для створення енергії. У ньому здійснюється реакція синтезу водню в гелій. У ядрі Сонця щосекунди близько 4 млн тонн речовини перетворюється на променисту енергію. В результаті генерується сонячне випромінювання і потік сонячних нейтрино. Однак запас водню скінченний. Цього пального Сонцю вистачить ще на 6 млрд років.

Сонце — не тільки джерело життя на Землі, але й запланована причина її загибелі.

Але трагічні зміни почнуться раніше. Спалюючи водень і виробляючи гелій, Сонце почне збільшувати свою яскравість. За мільярд років його яскравість збільшиться на 10%. Для Землі це не обіцяє нічого хорошого. Через 3 млрд років яскравість Сонця збільшиться на 40%, і на цьому етапі зникне вода, випарувавшись і зникнувши в космосі. Життя в його сучасному вигляді припиниться. Можна сподіватися, що еволюція Життя на таких великих часових масштабах знайде форми, які будуть здатні існувати в цих умовах. Однак відсутність води може створити непереборну перешкоду для еволюції.

Розвиток подій завершиться перетворенням Сонця на червоного гіганта приблизно через 8 млрд років. Орбіти Меркурія, Венери й Землі потраплять всередину Сонця. Зрозуміло, навіть якщо Земля при цьому не зруйнується, це означає кінець будь-якого органічного життя.

До цього моменту фундаментальна наука, якщо думати про порятунок Людства і в цілому Життя, пов'язаного з Землею, має досягти такого рівня, який дозволить вирішити цю проблему. Найпростішим вирішенням є колонізація інших планет.

Зараз неможливо уявити інші рішення, які будуть знайдені на той час розвинутою наукою майбутнього. Головне, що такі рішення можливі, ми навіть можемо їх уявити. Це означає, що стан не безнадійний.

Для реалізації цього цивілізація на той час має вийти на певний енергетичний рівень. Класифікацію цивілізацій за цим критерієм запропонував радіоастроном Н. Кардашев. Згідно з його шкалою, цивілізації I типу використовують усі доступні ресурси своєї планети ($W \sim 10^{16}$ ват). Наступний рівень цивілізації II типу, повинні повністю переробляти енергію зірки ($W \sim 10^{26}$ ват). Нарешті цивілізації III типу контролюють усю галактику ($W \sim 10^{37}$ ват). Якщо оцінити сучасні енергетичні можливості людства, то ми не дотягуємо навіть до цивілізації типу I.

Приблизно через 8 млрд років Сонце перетвориться на червоного гіганта — і орбіта Землі опиниться всередині Сонця.

Карл Саган запропонував інтерполяційну формулу і перетворив дискретну шкалу в безперервну. У рамках такого узагальнення оцінки дають оптимістичне значення приблизно 0.72, яке вже близьке до 1.

Однак у дискретній шкалі ми належимо до цивілізації 0 типу і, отже, навіть проблеми планети постають для нас величезною загрозою. Єдиний шлях, який веде до порятунку, — це розвиток фундаментальної науки, яка й запропонує безліч шляхів вирішення цієї проблеми та створить потенціал, необхідний для цього.

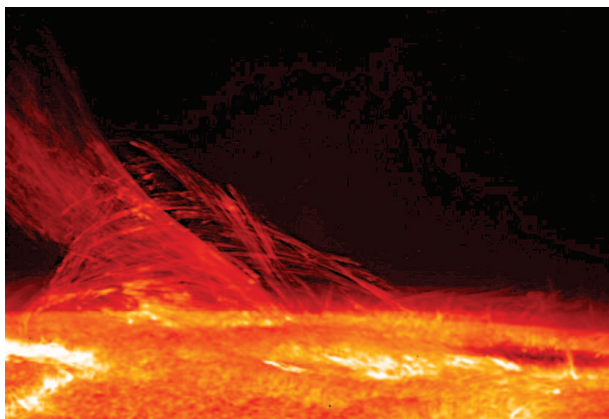


Рис. 2.34. Сонячний оптичний телескоп, встановлений на борту супутника *Ninode*, одержав чудові зображення поверхні і корони Сонця 12 січня 2007 року.

2.5. Проблеми Сонця

Сонце — це зірка третього покоління. Це означає, що до її складу входить відносно багато металів, які утворювалися із залишків зірок попередніх поколінь. Її вік приблизно 4.5 млрд років. Для зірки це молодий вік.

Почнемо з гарної новини — Сонце не вибухне надновою, його маси для цього недостатньо.

Почнемо з гарної новини — Сонце не вибухне надновою, його маси для цього недостатньо. Із цієї причини воно не стане і чорною дірою. Однак життя червоного гіганта коротке (див. вище). Сонце після вичерпання водню перейде до наступного етапу термоядерного синтезу, воно почне синтезувати з гелію вуглець. Цей етап триватиме приблизно 100 млн років, за цей

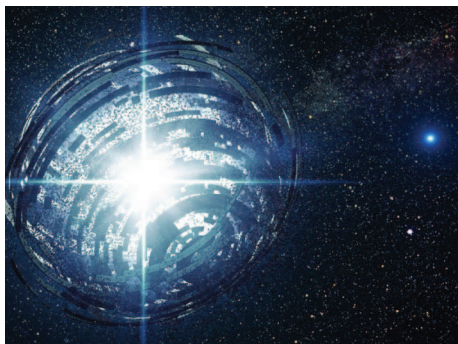


Рис. 2.35. Художнє уявлення про сферу Дайсона.

час буде використаний увесь гелій. Тоді почнеться пульсація оболонки — і в космос буде викинута атмосфера Сонця, утворюючи планетарну туманність. Зірка перетвориться на білого карлика розміром із Землю, який складається з вуглецю. Для запуску наступної реакції синтезу тиску і температури буде недостатньо. Під дією тиску вуглець перейде в стан алмаза і буде остигати, випромінюючи тепло в космос. Згодом він охолоне до декількох градусів — температури космічного середовища. У космосі залишиться величезний холодний алмаз, як пам'ять про бурхливе сонячне життя.

Від Сонця залишиться величезний холодний алмаз, як пам'ять про бурхливе сонячне життя.

Як має вирішити цю проблему Людство і які ресурси для цього воно буде мати до цього моменту? Це залежить тільки від темпів розвитку фундаментальної науки. Старіння Сонця і його неминуче вмирання віддалене від нас часовими відстанями, які важко уявити. Але масштаби майбутніх катастроф такі, що вчені вже зараз замислюються над тим, як врятувати людство,

розуміючи, що це залежить тільки від темпів розвитку фундаментальної науки.

Ярким солнцем, синей далью
В летний полдень любоваться —
Непонятною печалью
Дали солнечной терзаться...

Кто поймет, измерит оком,
Что за этой синей далью?
Лишь мечтанье о далеком
С непонятною печалью...

Александр Блок «Ярким солнцем»

Сонця блиском, далиною
В літній день замилюватись,
Загадковою журбою
Дивно й солодко терзатись...

Хто побачить, зрозуміє,
Що за тою далиною?
Тільки синява і мрія
Разом з дивною журбою...

Олександр Блок. Переклад Ганни Яновської

Так, Нобелівський лауреат Фрімен Дайсон запропонував грандіозний проєкт, який пізніше був названий сферою Дайсона. Він полягає в побудові величезної сфери навколо Сонця. Її радіус можна підібрати так, щоб на поверхні була комфортна температура. Поверхня сфери надасть величезну життєву площу для росту населення і можливість повної утилізації енергії нашої зірки. Дайсон вважав, що будь-яка цивілізація, досягаючи певного рівня розвитку, повинна зайнятися таким або подібним проєктом. Ця ідея окрім вирішення декількох проблем

людства вдихнула свіжий струмінь і в пошук позаземних цивілізацій. Астрономи вдаються до спроб виявити в космосі сфери Дайсона.

El diamante de una estrella
Ha rayado el hondo cielo,
Pájaro de luz que quiere
Escapar del universo
Y huye del enorme nido
Donde estaba prisionero
Sin saber que lleva atada
Una cadena en el cuello.

Federico Garcia Lorca «El diamante»

У діамантовім розсипі зірка
Дряпає небо глибоке —
Так світляному птахові гірко,
В безмежнім гнізді гнітиться;
Він залишити Всесвіт хотів,
Який став неначе в'язниця.
Зірка не знає ще тих ланцюгів,
Далі яких — ані кроку.

Федеріко Гарсія Лорка. Переклад Ганни Яновської

Загалом це цілком здійсненне завдання. Періодично навіть з'являються повідомлення про об'єкти, що поводяться як сфери Дайсона. Якщо пофантазувати ще трохи, то можна уявити, що сферу Дайсона можна спробувати використовувати як своєрідний космічний корабель для переміщення до відповідної зірки в нашій Галактиці або навіть в іншій. Головна перешкода — час для такої подорожі завдяки сфері Дайсона людству не здаватиметься стомлюючим. Технічні труднощі ми не обговорюємо — до моменту початку будівництва сфери Дайсона навряд чи вони будуть видаватися нездоланими. Для того щоб

оцінити проблему часу подорожі, подивимося, як довго летіти до найближчої від нас зірки Проксима Центавра. Світло від цієї зірки досягає нас за 4.37 року. Найшвидший зонд, запущений нами, — це автоматична міжпланетна станція «Нові горизонти», що досягла швидкості 16.26 км/с відносно Землі. Цей зонд був запущений 2006 року. Отже, якщо летіти з цією швидкістю, то станція долетить до Проксими Центавра через 80429 років!

Запропоновані й інші, більш реалістичні ідеї. Одна з них — створити штучне Сонце поблизу нашої планети. Джерелом енергії повинні служити, природно, ядерні реакції. Паливо для цього можна добувати на Юпітері. Судячи з попередніх розрахунків, таке рукотворне світило здатне підтримувати Життя на нашій планеті.

Інші шляхи вирішення будуть запропоновані розвиненою фундаментальною наукою майбутнього, якщо, зрозуміло, вона ще існуватиме. Але, як ми бачимо, іншого шляху у нас немає. Повернення до кам'яної доби для людства завжди залишається відкритим і можливим варіантом. А для декого навіть бажаним.

2.6. Проблеми Галактики

Перейдемо тепер до проблем масштабу Галактики. Масштаби проблем її існування значно перевершують масштаби всіх об'єктів, які описані в попередніх розділах. Це серйозна над-проблема для Людства. Масштаби і складність таких проблем ще недоступні людству. Для підготовки до них потрібно розвинути фундаментальну науку до неймовірного рівня. Фактично ми маємо досягнути за шкалою Кардишева рівня цивілізації III. На цьому шляху нас чекають не тільки величезні труднощі, але і неймовірні відкриття. Людство, досягнувши цього рівня, стане домінуючим видом нашої Галактики.

Насамперед, існує загроза зіткнення з іншими галактиками. Астрономи виявили, що галактика Андромеди (М31) наближається до нашої Галактики зі швидкістю приблизно 120 км/с. За експериментальними даними можна встановити, що наша Галактика зіштовхнеться з галактикою Андромеди приблизно через 4 млрд років. Слід зазначити, що зіткнення галактик — це досить рідкове явище.

Через 4 млрд років наша Галактика зіштовхнеться з галактикою Андромеди (М31).

Зрозуміло, не слід очікувати прямого зіткнення зірок при цьому. Щільність зірок у галактиках занадто мала. Просто протягом приблизно одного-двох мільярдів років ці галактики утворюють одну гігантську галактику. Однак це не означає повну відсутність наслідків для Сонячної системи і Землі зокрема. Проблема становлять далекодіючі гравітаційні поля, під дією яких Сонячна система може бути викинута за межі галактики, що утворилася. У цьому випадку вона стане блукаючим міжгалактичним об'єктом. Відповідно, ми більше не побачимо нашого прекрасного зоряного неба. Імовірність такого вильоту сьогодні

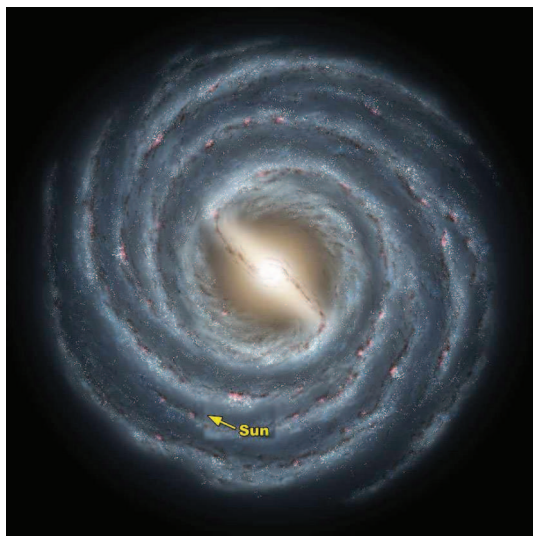


Рис. 2.36. Наша Галактика. Жовтою стрілочкою зазначене місцезнаходження нашого Сонця.

оцінюється в 12 %, а ймовірність захоплення Андромедою в 3%. В принципі магнітосфера Сонця зможе захистити Землю від міжгалактичної радіації.

Однак збережеться небезпека зіткнення з міжгалактичними хмарами. Це вже буде катастрофічною або, точніше сказати, вбивчою подією для нас.

Подібна проблема існує і для нашої Галактики. Так, нещодавно було виявлено, що Хмара Сміта, відкрита в 1962 році астрономом Гейлом Смітом, рухається в напрямку нашої Галактики зі швидкістю трохи більшою за 240 км/с. Зіткнення з нашою Галактикою відбудеться приблизно через 20–40 млн років. Ця подія буде супроводжуватися формуванням гігантської ударної хвилі і, як наслідок, бурхливим створенням нових зірок. Передбачається, що будуть створюватися величезні нестабільні зірки, які вибухнуть як наднові.

Послушайте!
Ведь, если звезды
зажигают —
значит — это кому-нибудь нужно?
Значит — это необходимо,
чтобы каждый вечер
над крышами
загоралась хоть одна звезда?!

Владимир Маяковский «Послушайте!»

Послушайте!
Адже, якщо зірки
засвічують —
виходить — без них комусь не можна?
Виходить — це необхідно,
щоб кожного вечора
понад дахами
загорялась хоча б одна зоря?!

Володимир Маяковський.
Переклад Катерини Шахової

Такі події могли відбуватися і в минулому нашої Галактики. Існує гіпотеза, що пояс Гулда — скупчення молодих масивних зірок поблизу Сонця — сформувався саме в результаті подібного зіткнення.

Як розв'язати проблему зіткнень з міжгалактичними хмарами, наразі невідомо, але є час подумати і знайти вирішення.

2.7. Проблема Всесвіту

Важко стриматися і не згадати, що історію Всесвіту на відміну від історії Людства можна побачити безпосередньо. Власне, створюючи більш досконалі телескопи, що дозволяють побачити все більш віддалені об'єкти Всесвіту, ми можемо побачити навіть на власні очі віддалене минуле Всесвіту. Чим далі, тим більш віддалене минуле стає нам доступним. Так наприклад, за допомогою космічного телескопа «Хаббл» людству вдалося побачити минуле, віддалене від моменту виникнення нашого Всесвіту майже на 1 млрд років. Фактично з його допомогою побачили створення протогалактик — перших згустків матерії. Це радикально відрізняється від історії людства, яку не тільки не можна побачити, але навіть про неї довідатися.

Історію Всесвіту, на відміну від історії людства, можна побачити безпосередньо.

Як ми вже згадували раніш, наш Всесвіт розширюється з прискоренням. Це досить надійно встановлений факт.

Искаженная пространством бесконечность,
Может быть, не канет в пустоту.
Может быть, и детская беспечность
Не сорвется на лету.
Может, быть испивши все отравы,
Весь прошедши свет,
Ты запишешь в рукопись славы
Летопись побед.

Лев Гумилев

Викривлена простором безмежність,
Може, не впаде у пустоту.
Може, юних мрій необережність
Не зламає крила на льоту.
Може, світ пройшовши й пригубивши,
Всі гіркі пиття,
Перемог літопис ти запишеш
В хроніку життя.

Лев Гумільов. Переклад Ганни Яновської

Однак існують деякі спостереження і теорії, які інакше пояснюють дані, що дали обґрунтування для цього висновку.

Ми прямуємо до самотності.

Одним із них є спостереження «темного потоку», під яким мають на увазі виявлений рух галактичних скупчень у визначеному напрямку зі швидкістю 1000 км/с. Поки що виявлено близько 1400 таких галактичних скупчень. Всі вони рухаються в визначеному напрямку в область, достатньо віддалену від нас. Це дивно, адже згідно зі звичайними уявленнями вони повинні мати хаотичні напрямки руху. Одне з пояснень «темного потоку», яке обговорюється, полягає в наявності величезної маси, яка притягує галактичні скупчення. Вона знаходиться за видимим горизонтом нашого Всесвіту. Це дивно, адже відповідно до теорії Великого Вибуху речовина має бути розподілена однорідно в просторі. Відомі й інші пояснення, наприклад, що така маса розміщена зовні нашого Всесвіту. Поки що більшість вчених скептично ставляться до «темного потоку». В принципі, в нашому Всесвіті відома зона, названа Великим Аттрактором, яка має величезну масу — близько 10^5 мас нашої Галактики. Можливо, це надскупчення галактик. Наша Галактика і деякі



Рис. 2.37. *Крабоподібна туманність — залишок вибуху наднової SN 1054. Вона ототожнюється зі спалахом наднової, яка описана арабськими і китайськими спостерігачами в 1054 році.*

інші рухаються в напрямку Великого Аттрактора, формуючи локальну течію галактик до нього.

Повернемося до прискореного розширення Всесвіту. Чим це загрожує Всесвіту і, зрозуміло, нам?

Наша частина Всесвіту, що спостерігається, оточена горизонтом подій. Горизонт подій відокремлює область, про яку ми можемо довідатися, від більш віддаленої частини, про яку ми нічого довідатися в принципі не можемо. Якщо швидкість розширення Всесвіту буде збільшуватися, то віддалені об'єкти поступово сховаються за горизонтом і тоді в частині Всесвіту, що ми спостерігаємо, число об'єктів буде зменшуватися. Ми прямуємо до самотності. На деякому етапі розширення гравітаційні сили перестануть утримувати галактики у скупченнях. За ними піде розпад галактик і зоряних скупчень. Через деякий час розпадуться і зоряні системи. Настане час критичного зменшення

електромагнітних сил, які втримують речовину, тоді планети почнуть розпадатися і зникнуть. Як і речовина в цілому, і Всесвіт заповниться атомами. Втім, невдовзі розпадуться і атоми, і Всесвіт наповниться фотонами, нейтрино, електронами, позитронами й кварками. Настане епоха вічної темряви. Настане кінець усьому, все вимре.

Але, як же так? Невже вся історія зародження Життя і виду *Homo sapiens*, найбільших наукових відкриттів, геніального живопису, скульптури і музики, боротьба ідей і бажання справедливості, мораль і любов — все дарма? Відповідь на це питання залежить від майбутніх наукових відкриттів. Подальша доля Всесвіту нам уже не доступна. Потрібна інша, ще невідома нам Фізика.

Настане епоха вічної темряви.

Вирішення цієї проблеми, як не дивно і фантастично це звучить, уже намагаються запропонувати навіть зараз. Існують наукові праці в цьому напрямку.

Маша́ моделями вселенной,
Выходит физик из ворот.
И вдруг упал, сломав коленный
Сустав. К нему бежит народ,
Маша́ уставами движенья,
К нему подходит постовой,
Твердя таблицу умноженья,
Студент подходит молодой.
Деву́ца с сумочкой подходит,
Старушка с палочкой спешит,
А физик всё лежит, не ходит,
Не ходит физик и лежит.

Даниил Хармс

Із дому фізик вибігає
З моделлю всесвіту в руках.
І раптом падає й ламає
Він праву ногу в двох місцях.
Прийшов дільничний круглолиций,
Статутом руху помахав,
Студентик множення таблицю
Напам'ять тихо почитав,
Бабуся з костуром підходить,
І юна панночка біжить.
А фізик все лежить, не ходить,
Не ходить фізик і лежить.

Данило Хармс. Переклад Ганни Яновської

Зрозуміло, не треба думати, що наші знання про Всесвіт майже повні. Вони величезні, але ще досить обмежені. Для того щоб зрозуміти це, досить сказати, що в 1960-ті роки були виявлені надійні аргументи про сильну обмеженість наших знань про матерію, що наповнює наш Всесвіт, а в 2013 — про енергію. Виявилося, що ми знаємо лише 4.9% з того, чим наповнений наш Всесвіт! Інші 95.1% одержали назви темна матерія (26.8%) і темна енергія (68.3%). Зараз ми впевнені, що ці компоненти є, але ще не знаємо, що це таке.

Ми знаємо тільки 4.9% з того, чим наповнений наш Всесвіт.

Основні міркування стосуються уявлень про існування мультивсесвіту. Інакше кажучи, гіпотез про множинність всесвітів. Ці гіпотези активно обговорюються фізиками. Є три джерела для таких уявлень. Це теорія струн, квантова механіка в інтерпретації Еверетта і теорія вічної інфляції.

Слід, відповідно до наукових підходів, попередити читача, що тут і далі ми в значній мірі будемо спиратися на гіпотези. Вони можуть виявитися правильними чи навпаки, можуть виявитися невірними і відкинутими під впливом нових наукових відкриттів. Як любив говорити Річард Фейнман: «У фізиці істина рідко буває кристально ясною, і те саме завжди справедливе щодо людських справ. Словом, все, що не супроводжується сумнівами, не може бути істиною». Це цілком природно для науки. Навіть навпаки, в науці критика не тільки вітається, але і стимулюється. Будувати гіпотези, доводити і спростовувати їх — суть науки. Тому слід критично ставитися до підходів щодо обговорюваних нижче проблем. Вони знаходяться на межі наших знань. Саме тому багато вчених намагаються вийти за горизонти наших знань і, відповідно, працювати поблизу областей науки на межі наших знань. Вони намагатимуться знайти шляхи до їхньої більшої визначеності. Іншими словами, довести або спростувати ці гіпотези. Згадаймо слова німецького поета, письменника, мислителя, філософа і природознавця Йоганна Вольфганга фон Гете: «Гіпотези — це риштування, які зводять перед будівлею і зносять, коли будівля готова; вони необхідні для працівника; він не повинен тільки вважати риштування будівлею».

Теорія суперструн — це теорія, що претендує на теорію Всього. Вона пояснює всі елементарні частинки як різні «акорди» коливань квантових струн. Для цього такі струни мають коливатися в одинадцятивимірному просторі-часі. Зрозуміло, наш Всесвіт всього лише чотиривимірний. Для того щоб погодити ці настільки різні уявлення, є два шляхи. Можна припустити, що інші виміри згорнуті й не спостерігаються, або вважати, що наш Всесвіт відповідає мембрані, що плаває в просторі.

Якщо стати на таку точку зору, тоді можлива безліч мембран, що плавають у просторі більшої розмірності. Звідси можна зрозуміти, що всесвітів може бути безліч. Вони можуть зустрічатися один з одним, поєднуватися або розділятися. Приблизно як

мільні пухирці, що видуваються дитиною. До речі, зіткнення таких всесвітів — ще одна гіпотетична загроза людству.

Tiger got to hunt,
Bird got to fly;
Man got to sit and wonder, “Why, why, why?”
Tiger got to sleep,
Bird got to land;
Man got to tell himself he understand.

Kurt Vonnegut «Cat's Cradle»

Тигр, як завше, полює,
А пташина літає.
А людина
«Чому?», та «Чому» все питає.
Пташка втомлена сяде,
Тигр засне неодмінно,
А людина промовить, що все зрозуміла.

Курт Воннегут. Переклад С. Бойка

Квантова механіка, точніше інтерпретація квантової механіки, дає іншу можливість. Цю інтерпретацію запропонував Г'ю Еверетт в 1957 році. Його, як і Ейнштейна, турбували деякі властивості квантової механіки, зокрема, процес вимірювання і поява випадковості. В інтерпретації Еверетта парадокс кота Шредингера знаходить «просте» пояснення. Нагадаємо, в чому полягає парадокс кота Шредингера. Нехай у закритому ящику перебуває кіт, ампула з ціністим калієм, радіоактивний атом і лічильник Гейгера. При розпаді атома спрацює лічильник Гейгера і розбиває ампулу з отрутою, а бідний кіт гине. З точки зору квантової механіки, до відкриття ящика кіт перебуває в стані «живий-мертвий» кіт. При відкритті ящика відбувається вимірювання стану, і кіт миттєво переходить у стан «живого» або «мертвого» кота. Імовірність виявити живого кота



Рис. 2.38. Г'ю Еверетт (1930–1982) — американський фізик, який запропонував багатосвітову інтерпретацію квантової механіки.

становить один до двох. В інтерпретації Еверетта цей процес виглядає інакше. У момент виміру виникає розщеплення нашого світу на два «паралельних» всесвіти — в одному кіт живий, а в іншому мертвий. Ми будемо спостерігати обидва варіанти, тому що одна наша копія буде перебуває в одному всесвіті, а інша — в другому. Одна побачить мертвого кота, друга — живого. Тобто, немає ніяких ймовірностей — обидва варіанти здійснюються. Щоправда, повідомити результат вимірювання нам наша копія не зможе, перебуваючи в іншому всесвіті. Звідси і поява ймовірностей спостереження для нас. Цю інтерпретацію називають багатосвітовою. У ній допускається існування безлічі паралельних світів. Слід зауважити, що ця інтерпретація квантової механіки, як і копенгагенська, є зараз найбільш популярною.

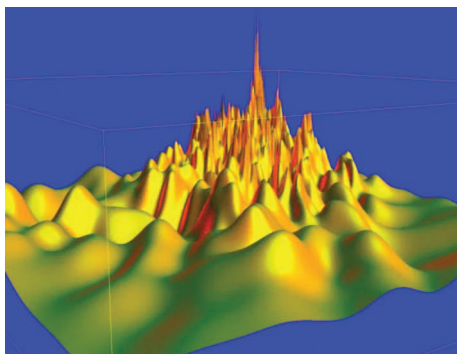


Рис. 2.39. Комп'ютерний образ скалярного поля, що приводить до багатьох інфляційних областей. Кожен сплеск починає швидке розширення, породжуючи свій всесвіт.

Ще одна можливість існування мультивсесвіту виникає в космології. Нагадаємо, ми раніше говорили про інфляційну теорію. Грубо кажучи, це стадія швидкого роздування Всесвіту, коли квантові флуктуації швидко роздувалися до величезних розмірів. До таких величезних, що ми й не знаємо, що існує за цими масштабами. Можна висловити обґрунтовані припущення, що квантові флуктуації можуть привести до локально різних вакуумів, які розтягнуться інфляцією і приведуть до утворення безлічі всесвітів. Інакше кажучи, наш Всесвіт — це вибух після закінчення інфляції в нашій області, в інших областях всесвіти з'явилися раніше, а ще десь з'являться пізніше. Інфляція триває. Не вдаючись у деталі, зазначимо, що виникає картина множинності світів. Це дає принципову можливість вирішити проблему, пов'язану з еволюцією нашого власного Всесвіту.

Подальше обговорення проблем стає неможливим, тому що після вирішення цієї проблеми Всесвіту залишаться тільки невідомі нам проблеми. Але можна бути абсолютно впевненими — вони, безумовно, будуть!

2.8. Висновок

Настав момент зупинитися і закінчити книгу. У нашому Світі, як і в інших казкових світах, змінюються пори року, змінюється сам світ, змінюємося ми. У маленькій Долині мумі-тролів настала весна. Час прокидатися — і Мумі-троль прокинувся і став чекати свого друга Снусмумрика, який вирушив у подорож. Він весь час думав про небезпеки, що підстерігають Снусмумрика в цьому величезному світі. «Хто його знає, — думав Мумі-троль, повільно прогулюючись берегом річки. — Існують же на світі Морра і поліцейські. І ще прірви, куди можна впасти. Можна замерзнути, злетіти в повітря, впасти в озеро, вдавитися кісткою, та чи мало ще чогось! У світі багато небезпек. Там нікому немає діла до тебе, і нікому не цікаво знати, що ти любиш і чого боїшся. А Снусмумрик в старому зеленому капелюсі ходить по білому світу...»¹ Навіть світ у прекрасній Долині мумі-тролів піддавався небезпекам. Їхній долині загрожувало падіння комети², виверження вогнедиhaючої гори, повінь і різні інші неприємності. Казковий світ здається нам тим ближчим, що більше небезпечних подій в ньому відбувається. Дійсність більш непередбачувана і небезпечна, аніж казкова вигадка. У нашому світі історія неприємностей циклопічна, і вони набагато масштабніші казкових. А найголовніше — їх важко подолати. Льодовиковий період, індустріалізація і зростання населеності Землі, пов'язані з цими явищами, показують, наскільки великими мають бути зусилля людства, що ведуть країни шляхом розвитку науки, створення технологій, нових підходів, щоб уникнути катастрофи, що наближається, що вже казати про проблеми більш довгострокові, про які йшлося вище.

Можна тільки дивуватися пророчим висловлюванням Вільяма Блейка, що прозвучали понад двісті років тому: «Коли

¹Туве Янссон. Небезпечне літо.

²Туве Янссон. Мумі-троль і комета.



Рис. 2.40. Ілюстрація англійського поета, художника і гравера Вільяма Блейка до його поеми «Єрусалим». Ця остання і найбільш пророча поема викарбувана автором на міді і власноручним видруквана. Вона була створена у 1820–1827 роках.

остаточно виявляться непотрібними мистецтва, науки, творча фантазія та інтелектуальні здатності людини, і між людьми не залишиться нічого, крім розбратів і чвар. Отоді й почнеться Страшний Суд».

Іноді, почувши про відкриття ентомологом нової мушки або жука, хтось задає питання: а що дасть це відкриття йому і скільки воно коштує? Це типове питання з приводу будь-якого відкриття або нового знання. Аналогічно можна запитати, а скільки коштує «Мона Ліза» Леонардо да Вінчі? До речі, цікаво, у яку суму цей хтось оцінив би своє життя? Правильна і єдина відповідь: будь-який новий науковий факт чи відкриття — безцінний! Через десятиліття може статися так, що гени цієї мушки будуть унікальними і допоможуть перемогти рак.

Ми не можемо заздалегідь передбачити, до яких знань новий науковий факт відкриває двері. Цих знань у нас ще немає. Чи міг Демокріт сказати, що відкриття атома приведе до створення смартфона? За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я в 2000–2015 роках тільки від кору було врятовано 20.3 мільйона життів. Це сталося завдяки створеній вакцині від кору. Вже те, що Наука врятувала величезну кількість людських життів і буде рятувати їх у майбутньому, — заслуговує, щонайменше, поваги. Зрештою все, чим відрізняється наш час від минулих століть, пов'язане тільки з Наукою і створено Наукою.

Будь-який новий науковий факт чи відкриття — безцінний!

Існує безліч причин, що вимагають розвитку фундаментальних наук. Насправді можна сказати, що розвиток науки визначає єдиний шлях, що дозволяє країні або країнам подолати відсталість, бідність і домогтися успіхів і процвітання. Знищення науки призводить до повернення відсталості, бідності та занепаду. Можна згадати цивілізацію майя (2000–900 роки до н. е.) — високорозвинену цивілізацію Америки. Ця цивілізація створила писемність, досягла видатних успіхів у математиці, астрономії, архітектурі й мистецтві. Саме майя розробили найточніший календар, задовго до європейських народів. А вже з IX століття почався занепад цієї цивілізації. Достовірно причини занепаду невідомі, і суперечки про це тривають. Однак занепад науки в цей період незаперечний, і можна припустити, що, знищивши ізольовану касту жерців — зберігачів Науки, ця цивілізація фактично зникла, перетворившись на примітивні племена. Куди зникли будівельники приголомшливих пірамід і міст? Всі вони канули в Лету¹.

¹Лета — річка забуття в давньогрецькій міфології.



Рис. 2.41. Календар майя, який використовували й інші центральньоамериканські народності.

Слід підкреслити, що для суспільства важлива не тільки наука та її пропаганда, але й дуже важливо пропагувати сам науковий метод або науковий підхід до проблем. У науці ні в кого немає привілеїв, кожен може сперечатися і доводити свою правоту і спростовувати будь-які авторитети. Критичне ставлення до доказів — основа науки. Важлива виключно обґрунтованість доказів, а не авторитет прихильників. Лише вільний обмін ідеями дозволяє науці розвиватися. Власне, такий підхід і дозволяє виправляти помилки. Неважко помітити подібність із демократією. Скептицизм — це основа демократії. З цього стає зрозумілим, що науковий метод необхідний всім.

Виховання певної дисципліни думки і критичного мислення повинно бути закладено в основу навчання. Вже за часів великого британського математика Бертрана Артура Вільяма Рассела¹ (1872–1970). З цим виникли труднощі, судячи з його висловлювань: «Education should aim at destroying free will, so that, after pupils have left school, they shall be incapable, throughout

¹У 1950 році отримав Нобелівську премію з літератури.

the rest of their lives, of thinking or acting otherwise than as their schoolmasters would have wished». — «Освіта направлена на знищення свободи волі, щоб після того, як учні покинули школу, протягом усього життя вони були нездатні думати або діяти інакше, ніж хотілося б їхнім шкільним вчителям». Або: «A certain percentage of children have the habit of thinking; one of the aims of education is to cure them of this habit. Inconvenient questions are met with "hush, hush" or with punishment». — «Певний відсоток дітей має звичку думати; одна з цілей освіти — вилікувати їх від цієї звички. Незручні питання зустрічаються з "мовчати, мовчати" або з покаранням». В наш час актуальність його слів тільки зросла. У вихованні критичного мислення і полягає одна з головних турбот про дітей.

До речі, не слід думати, що проблема з освітою стосується тільки Великобританії, зрозуміло, вона стосується всіх. У певному сенсі за Великобританію можна бути спокійним, враховуючи обрану нею стратегію: «Щоб протистояти викликам майбутнього, ми будемо залучати талановитих вчених з усього світу і інвестувати в передові дослідження». Якщо коротко, це формула успіху Великобританії після Брексіта, озвучена прем'єр-міністром Борисом Джонсоном. Але вона цілком могла б бути і формулою успіху України. Адже щороку зволікання відкидає нас на десятиліття в конкурентній боротьбі.

Життя на нашій планеті легко вразливе. Досить згадати, що 99.9% тварин, що жили на Землі, вже зникли. Якщо не вживати зусиль, то Життя і сама Земля неминуче зникне. Тому ми або сліпо будемо очікувати свого знищення, як динозаври, або боротимемося за існування. Тільки інтенсивний розвиток фундаментальної науки може дати надію не тільки Людству, але і взагалі Життю на Землі. Наука потрібна не тільки для того, щоб ми жили краще — це просто побічний продукт науки. Наука потрібна для того, щоб ми взагалі жили. Тільки Розум є гарантом життя. Небезпечна навіть не відсутність науки, а просте зниження темпів її розвитку. Уявіть, яка трагедія для

наших нащадків — знати про катастрофу, що насувається, і не мати можливості їй запобігти — завдяки своїм предкам, які не подбали про потрібний темп розвитку Науки.

Наука потрібна не для того щоб ми жили краще — це просто побічний продукт науки. Наука потрібна для того, щоб ми взагалі жили. Тільки Розум є гарантом життя.

Напевне, останнє твердження і є головною мотивацією, що змусила нас написати цю книгу.

Index

WMAP, 13

Венера, 174

Веста, 139

Гігея, 139

ДНК, 42

Еріда, 139

Земля, 34

Йеллоустонський вулкан,
145

Кіотський протокол, 124

Кембрійський вибух, 59

Кольська надглибока свер-
дловина, 180

Люди, 61

Місяць, 35

Макемаке, 139

Марс, 138

Меркурій, 174

Нептун, 139

Паллада, 139

Пангея, 36

Пангея Проксима, 150

Паннотія, 36

Плутон, 139

РНК, 42

Сонце, 22

Стандартна Космологічна
Модель, 9

Тейя, 35

Хаумеа, 139

Церера, 139

Цефеїди, 2

Юпітер, 138

агент, 102

агрегування, 103

адрон, 9

аеробний, 58

- азот, 36
амінокислоти, 40
анаеробний, 58
антинейтрон, 9
антипротон, 9
антропний принцип, 27
апоптоз, 48
ардіпітек, 77
археї, 53
астеносфера, 181
астероїд Апофіз, 139
атмосфера Землі, 35
атом, 9
атрактор, 101
- білий карлик, 17
багатоклітинність, 45
багатоклітинний організм, 55
бактеріородопсин, 55
бактеріофаг, 47, 158
бактеріохлорофіл, 55
бактерія, 53
баріон, 9
басейн притягання, 101
бритва Оккама, 63
- відкриті системи, 100
відходи соціуму, 121
війна, 130
вірус імунodefіциту людини, 152
віспа, 150
вегетаріанство, 75
- великі метеорити, 135
велика киснева подія, 57
великомасштабне огрублення, 100
вибух наднової, 144
вимирання динозаврів, 136
внутрішні моделі поведінки, 103
внутрішнє ядро, 181
вогонь, 70
водень, 9
всеїдність, 75
вуглеводи, 40
вуглисті хондрити, 40
- гідротермальні джерела, 53
гіперболічний закон, 106
гіпотеза Геї, 126
газонаповнена пора, 36
галактика Андромеди, 191
галактика Чумацький шлях, 22
гамма-спалах, 143
гелій, 9
геліоцентрична система, 4
генетична еволюція, 79
глюон, 9
голий землекоп, 72
гомінід, 62
горизонт подій, 196
- діоксид вуглецю, 36
діоксид сірки, 36
дейтерій, 9

- демографічна проблема, 107
держава, 99
детермінований хаос, 101,
174
дивний атрактор, 100
динозаври, 136
дисипативні процеси, 100
домен, 54
еволюція, 45
екологічна ніша, 67
екологічна проблема, 121
емергентність, 86
епідемія іспанського грипу,
152
епідемія Синдрому набуто-
го імунного дефіци-
ту, 152
еукаріоти, 57
євгеніка, 167
жгутиконосець, 56
жовтий карлик, 22
зірка третього покоління,
186
закон Хаббла, 3
закон червоного зміщення, 3
закони роботехніки, 168
зигота, 165
зовнішнє ядро, 181
зона Золотоволоски, 173
інверсія магнітного поля,
146
інтелект, 47, 84
інтерпретація Еверетта, 200
інформаційні потоки, 100
кібернетика, 102
кіт Шредингера, 200
кам'яні знаряддя, 67
кам'яний вік, 74
кварк, 9
кваркова зірка, 144
клімат, 123
клітинна мебрана, 54
класифікація цивілізацій,
185
коацерват, 41
коктейль Яманакі, 165
колектив взаємодіючих
об'єктів, 99
колективні поля, 99
колективне рішення, 111
колективний вибір, 112
колонізація інших планет,
184
конкуренція, 45
космологічна інфляція, 9
космологічна стала, 20
космологічний член, 20
кратер Чикшулуб, 137
креаціонізм, 38
кристал, 36
культура, 104
лінія льоду, 28
ліпіди, 40

- літосфера, 181
лептон, 9
людина, 62
- мінливість, 45
мітохондрія, 57
магнітне поле, 37
магнітне поле Землі, 146
магнетит, 37
мебранні органели, 54
мезон, 9
мова, 71
моделі навколишнього сере-
довища, 103
модель гарячого Всесвіту, 10
моногамія, 76
мораль, 79
мораль соціуму, 114
мясоїдство, 75
- наднова зірка, 17
надра планети, 145
нанофізика, 156
наука, 105
небулярна гіпотеза, 23
нейтрон, 9
нейтронна зірка, 144
нелінійність, 100
неотенія, 73, 78
нерівноважність, 100
неуцтво людства, 115
нуклеосинтез, 9
нуклеотид, 42
- об'єм мозку, 62
- одноклітинна водорість, 55
оксигенація океанів, 59
орбіта планети, 172
- піримідини, 40
пандемія, 93
панспермія, 38
парадокс Ольберса, 7
паразити, 76
парникові гази, 124
парниковий ефект, 123
передбіологічний період, 40
переполусовка, 147
планетарна туманність, 187
планетезималі, 28
плем'я номоле, 117
подвійні нейтронні зірки,
144
поліовірус, 152
поліомієліт, 152
поле матеріальних благ, 99
поля взаємодій, 99
пора, 36
пояс Гулда, 193
пояс Койпера, 138
пояс астероїдів, 138
правила голосування, 111
принцип Коперника, 3
природний добір, 45
присвоєння міток, 103
проблема, 89
проблема пандемій, 150
проблема ресурсів, 129
проблема стійкості, 89

- прокаріоти, 54
протогалактика, 194
протон, 9
протопланета, 35
прямоходіння, 75
пурини, 40
- райське життя, 94
реакція синтезу, 184
резолюція 1080, 141
реліктове випромінювання,
 10, 13
реплікант, 45
реплікація, 44
розв'язок Фрідмана, 15
розподіл статей, 58
розширення Всесвіту, 5
ройовий інтелект, 47, 85
рух материків, 149
- сірий слиз, 162
савана, 74
світ маргариток, 127
світність, 15
силікат цирконію, 36
симбіоз, 57
синергетика, 102
система виборів, 111
складна адаптивна система,
 102
смерть, 47
сонячна радіація, 37, 146
сонячна система, 22
сонячний вітер, 28
- соціальні закони, 105
соціальні переваги, 104
соціальна справедливість,
 110
соціальна структура, 75
соціум, 74, 76, 99
спільний предок, 52
спадковість, 45
стандартна космологічна
 модель, 19
стандартна свічка, 17
стовбурова клітина, 165
сузір'я Стрільця, 171
супервулкани, 145
суперконтинент Родинія, 36
супутник Планк, 14
- темна енергія, 14, 198
темна матерія, 14, 198
теорія Великого вибуху, 6
теорія Дарвіна, 44
теорема Ерроу, 111
термоядерний реактор, 183
товарообмін, 92
- ударна хвиля, 139
упорядкована структура,
 101
- фотосинтез, 55
- хаос, 101
хаотична поведінка, 101
харчова піраміда, 67
хмара Оорта, 138

хмара Сміта, 192

цитоплазма, 54

цунамі, 139

чисельність людства, 106

чорна діра, 144

шимпанзе, 60

штучний інтелект, 167

экзопланета, 31

ювенілізація, 73, 78

Науково-популярне видання

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС
«ІНСТИТУТ МОНОКРИСТАЛІВ»

Семиноженко Володимир Петрович
Яновський Володимир Володимирович

Перед обличчям Всесвіту

Для широкого кола читачів

Текст надруковано в авторській редакції
Коректор В. В. Борзова
В. В. Яновського

Підписано до друку 16.08.2021
Формат 60 × 84 1/16. Гарнітура Times
Папір офсетний. Друк офсетний.
Умовн. друк. ар. 12,78
Тираж 1000 прим. Зам.
Термін придатності необмежений

Надруковано в **UNISOFT**
вул. Морозова, 136, м. Харків, 61036
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 5747 від 06.11.2017