

М. В. Висоцький

Природознавство: науковий образ світу

Текст лекцій

ВПЦ "Київський університет"

УДК 5(075.8)
B53

Рецензенти:

д-р фіз.-мат. наук, проф. В. В. Обуховський,
канд. філос. наук, проф. В. А. Бугров

*Рекомендовано до друку вченою радою факультету
радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем
(протокол № 8 від 20 лютого 2017 року)*

*Ухвалено науково-методичною радою
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
(протокол № 4-16/17 н. р. від 16 червня 2017 року)*

Висоцький М. В.

B53 Природознавство: науковий образ світу: текст лекцій /
М. В. Висоцький. – К., 2018. – 143 с.

Наведено історію розвитку наукової думки від часів античності до нашого часу, а також огляд сучасних наукових концепцій, теорії та фактів з різних природничих дисциплін (фізика, біологія, астрономія, космологія тощо), поділених на окремі лекції. До кожної лекції додаються теми для самостійного опрацювання, а також запитання для самоконтролю.

Для студентів соціально-гуманітарних спеціальностей, що вивчають нормативну дисципліну "Науковий образ світу", а також для всіх, хто бажає ознайомитись із сучасним станом наукових знань."

УДК 5(075.8)

Лекція перша

ВСТУП.

ЗАРОДЖЕННЯ НАУКОВОГО ОБРАЗУ СВІТУ

У сучасному світі наука посідає особливе місце. Ми живемо в період бурхливої фази науково-технічної революції, коли наукові знання визначають більшу частину сфер діяльності людини. Наука увійшла в усі сфери життя людини, знання стали набагато ціннішим товаром, ніж будь-які матеріальні коштовності. І в той же час у багатьох людей немає цілісного розуміння, чим саме є наука, що вона вивчає. Наприклад, "науками" іноді називають астрологію, нумерологію, хіромантію та ще десятки їм подібних, тобто види людської діяльності, які не мають під собою ніякої доказової бази й є по суті реліктами, які прийшли в наш час із середніх віків. У той час як фізика, хімія, біологія й астрономія зробили величезні кроки вперед: людству відомо, як і коли з'явився наш Всесвіт, відомо, як і коли зародилося життя. Ми знаємо структуру речовини до дрібних деталей, вивчені всі головні сили, які існують у нашому Всесвіті, а найголовніше, ми точно знаємо межу нашого знання, і у вчених є розуміння, куди слід рухатися далі, щоб її розширити. Саме в тому, щоб дати загальне уявлення про те, що науці відомо, а що невідомо про наш світ в даний час, і полягає завдання даного курсу.

Для того, щоб почати розмову про природознавство як про науку, треба спочатку дати визначення, що це таке. Взагалі кажучи, єдиного тлумачення цього поняття не існує, проте можна дати два найпоширеніших.

Отже, *природознавство* – це наука про природу як про єдину цілісність; або ж це сукупність наук про природу, узятих як єдине ціле. У будь-якому разі, це найбільш загальна з усіх природничих дисциплін, яка об'єднує в собі астрономію, біологію, географію, геологію, фізику, хімію, екологію, психологію та багато інших наук, вивчаючи їх не окремо, а як єдину систему, визначає взаємозв'язки між окремими науками. Саме вивчення природознавства формує у людини найбільш загальні, найбільш

повні уявлення про оточуючий нас світ. Причому, оскільки природознавство є найбільш загальною серед усіх природничих наук, то і мета її також найбільш загальна – це спроба розв'язати так звані "світові загадки": найбільш глобальні питання, що існували перед людиною із часів початку її самоусвідомлення. Ці загадки можуть належати різним галузям науки, наприклад, загадками фізики перед природознавством є насамперед поява та еволюція нашого Всесвіту.

Звідки взявся наш світ? Чому і з чого він виник? Що було до того? Чому він саме такий, чому всі закони Всесвіту діють саме так, а не інакше? Чи буде він такий завжди, чи колись наш Всесвіт перестане існувати? Із чого складається наш світ? Що є речовиною, матерією, рухом, які вони бувають, і чому вони саме такі? На що вони поділяються, і чи є певна межа, до якої можна дійти у вивченні минулого, сучасного й майбутнього нашого Всесвіту? Чи існує лише наш Всесвіт, а може існують й інші всесвіти поза його межами? Чи є ці межі у Всесвіту, чи він безмежний?

Загадкою біології перед природознавством є насамперед життя, його поява та еволюція. Звідки взялося життя на Землі? Чому воно саме таке? Як воно зародилося, як воно розвивалося, чому воно саме таке, що привело до його появи та до всієї тієї різноманітності вже існуючих на Землі живих істот? Чи існує у природи "доцільність", чи можна казати, що життя саме таке внаслідок певних причин, чи воно стало таким саме по собі випадково? Чи існує життя тільки на нашій планеті, чи також за її межами? Це унікальне явище у Космосі, чи закономірне?

Звідки взялася людина? Що саме виділяє людину поміж всіх інших живих істот, як сформувався людський розум та як з'явилася свідомість? Подібні до цього і загадки психології перед природознавством. Що таке розум? Що таке свідомість? Що таке інтелект? За якими принципами вони функціонують, як саме формується наше уявлення про власне "я"? Чи свідомість притаманна лише людині? Чи мають свідомість інші живі істоти? Чи можна створити штучний розум, і якщо можна, то як? Чи існує позаземний розум, а якщо існує, то чи можемо ми його знайти, вступити з ним у контакт? Чи можна створити штучний

інтелект? Чи є таке поняття, як "свобода волі", чи всі наші вчинки детерміновані й визначені певними законами світу?

Бачимо, що зазначені загадки тісно пов'язані між собою: біологія торкається фізики, психологія – кібернетики, фізика – хімії і т. п. Мають свої головні загадки також й усі інші науки, і саме їхній розв'язок і є метою природознавства – усвідомлення того, що є наш світ, і чим ми є у ньому; усвідомлення того, чим є наука, яке знання є справжнім, науковим, а яке ні.

Отже, **природознавство** – це цілісне знання про все, що дійсно існує або може існувати у Всесвіті. Природознавство цікавлять усі поняття: від походження Всесвіту до пізнання молекулярних механізмів існування унікального Земного явища – життя. Природознавство не обмежується рішенням певних прикладних задач, і не можна сказати, що "ми вивчили природознавство" – воно так само неосяжне, як і наш Всесвіт. Головні цілі природознавства це, по-перше, виявлення прихованих зв'язків, що поєднують всі фізичні, хімічні, біологічні та інші явища (напр., як пов'язаний Великий вибух, у якому зародився наш Всесвіт, і хімічна будова клітин людини, або ще цікавіше, – як пов'язана будова кілець Сатурна зі структурою смуг на шкірі леопарда?). Як не дивно, всі ці явища виявляються дуже тісно пов'язані одне з одним. І, по-друге, більш глибоке й точне пізнання самих цих явищ. Природознавство не є прикладною наукою, воно є узагальненням всіх інших знань про світ, які має людина.

І хоча історично всі окремі науки вийшли з природознавства (точніше кажучи, з "натуральної філософії"), зараз стає зрозумілим, що вивчаючи світ через фільтр окремих наук, ми не можемо досягнути всю його повноту, і лише в поєднанні наук в єдине ціле є можливість найбільш повно зрозуміти світ, у якому ми живимо.

Отже, коли стало зрозуміло, що таке природознавство і навіщо воно потрібно, можна перейти до наступного терміну – *образ світу*. Що ж це таке, "образ світу", або інакше можна сказати "картина світу"? **Образ світу** – це система уявлень про світ і місце людини в ньому, сукупність відомостей про взаємозв'язок людини з дійсністю, з природою, суспільством, іншою люди-

ною, самою собою, а також породжувані цією сукупністю інформації життєві позиції людей, їхні переконання, ідеали, цінності.

Образ світу – це не лише сукупність фактів, які ми знаємо про світ, але й те, як ми діємо відповідно до цього знання. Будь-які істотні зміни картини світу спричиняють зміни в системі зазначених елементів, причому ці зміни зазвичай досить боляче відбиваються на житті людей, прикладом чого може бути конфлікт між релігійним і науковим світоглядами, який і досі остаточно не розв'язаний. Існує багато різних картин світу, а саме: духовна картина світу, культурна, фізична, біологічна, художня, філософська тощо; можуть існувати навіть такі незвичайні, як музична картина світу, якщо людина сприймає оточуючий світ як сукупність певних мелодій. Проте всі перелічені образи світу та безліч інших досить вузькоспрямовані. Вони дають опис лише невеличкої частини дійсності. Якщо ж казати про найбільші всеосяжні картини світу, які описують цілком весь світ, без будь-яких виключень, то можемо навести такі основні образи світу:

- *міфологічний*, що існував в часи античності;
- *релігійний*, що був домінуючим у середні віки;
- *науковий*, що існує сьогодні.

Відповідно, метою даного курсу є вивчення саме останнього, сучасного, наукового образу світу, що почав формуватися під час наукової революції XVI–XVII ст. і на сьогодні є домінуючим. Однак для того, щоб перейти до нього, треба спочатку дати невеликий екскурс в історію, оскільки без розуміння історичного контексту появи наукового образу світу незрозумілим буде і те визначальне місце, яке він займає в сучасному світі.

Що ж це таке, науковий образ, або наукова картина світу? Наукова картина світу – форма систематизації та узагальнення існуючих знань і різних наукових теорій в єдине ціле. Наукова картина світу – система уявлень людини про властивості та закономірності навколишнього світу, що, на відміну від інших картин світу, використовує наукову мову та науковий апарат для позначення й опису об'єктів і явищ. Наукова картина світу – всі теорії, що описують відомий людині природний світ, узяті як єдине ціле, система уявлень про найбільш загальні принципи й

закони світобудови. Наукова картина світу відповідає певному етапу історичного розвитку науки, вона систематизує конкретні знання, отримані в різних областях науки.

Але для того, щоб вести розмову про науковий образ світу, треба спочатку зрозуміти, що таке "наука"? Знову ж таки, єдиного визначення цього поняття не існує. Залежно від того, який саме аспект науки ми вважаємо головним, можна сказати, що наука це: сукупність знань і діяльність з продукування цих знань; певний соціальний інститут; безпосередня продуктивна сила суспільства; система професійної (академічної) підготовки й відновлення кадрів; форма суспільної свідомості тощо. Відповідно, від того, яке визначення ми будемо брати за основу, залежить і час, коли виникла наука. Як знання і діяльність з продукування цих знань, наука існує з часу появи людської культури, оскільки, коли перша людина навчилася видобувати вогонь, вона вже робила наукові відкриття.

Як форма суспільної свідомості наука виникає у прадавній Греції, коли філософи античності усвідомили значення наукової думки для розуміння оточуючого світу. Як соціальний інститут наука з'являється у Новий час, коли виникають перші університети, обсерваторії, академії наук, коли науковці стають виділеною групою людей, для яких саме це заняття є головним у житті. Як система підготовки кадрів наука існує із середини XIX ст., коли університети стають масовими, коли потреби розвитку промисловості формують цілий клас наукових освітніх закладів. Як безпосередня продуктивна сила наука діє із другої половини XX ст., коли суспільство виходить з індустріальної і переходить в постіндустріальну еру, де саме наукові знання визначають успіх будь-кого, чи то людини, чи компанії, чи навіть цілої країни.

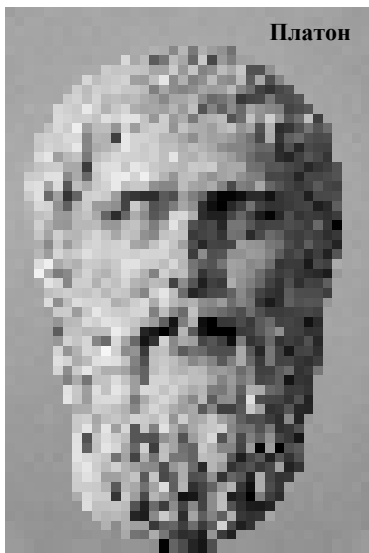
Проте, якщо йдеться про науковий образ світу, то нас цікавить наука як форма суспільної свідомості. Отже, з цієї точки зору саме в Давній Греції в VII–VI ст. до н. е., з'являються зародки того, що із часом оформилося в сучасний, науковий образ світу. Процес оформлення перших наукових знань дістав у філософії назву *перехід від міфу до логосу*.

Як вже було зазначено, головною картиною світу в античному світі була міфологічна картина. Міф – це узагальнене віддзе-

ркалення дійсності у фантастичному образі тих чи інших живих істот. Він різко відрізняється від звичного нам мислення і сучасного світогляду тим, що завжди сприймається як правда, яким би неправдоподібним не був. Міф одночасно пов'язує людину з двома світами – реальним і божественним. Для людини, яка мислить в межах міфологічної картини світу, немає різниці між мешканцями сусіднього міста та богами, що живуть деś на Олімпі. Для нього однаково реальні і люди, і боги, і чарівні істоти. Він уявляє Геліоса на своїй колісниці не як певний образ Сонця, а як цілком реальну істоту. Міфологічна оболонка (образ богів) і реальні знання (рух сонця) у міфологічному образі світу тожні, і саме процес виокремлення об'єктивних знань про світ від їхньої міфологічної оболонки, того, що реально, від того, що є лише нашою фантазією, одержав назву *перехід від міфу до логосу*.

Перехід від міфу до логосу відбувався у декілька кроків. *По-перше*, мала б відбутися відмова від логіки міфу. Без цього неможливе виникнення таких фундаментальних принципів наукової думки, як універсальність чи інваріантність. Міф ототожнював предмет з його образом, унаслідок чого він не бачить меж між реальним і нереальним, об'єктивним і суб'єктивним, що неприпустимо для науки. Наука має вивчати об'єктивні, реальні речі, і поки відповідь на запитання "чому?" щодо оточуючого світу дається у вигляді міфологічних історій, формування науки неможливе. Міф вже "знає" всі відповіді. Чому вночі темно? – Тому що бог Геліос на своїй вогняній колісниці пішов відпочивати.

По-друге, потрібно було замінити духовно-особистісне ставлення до дійсності об'єктивним, представити світ як річ, що підлягає об'єктивному розгляду. Необхідно було зрозуміти, що будь-які явища, які оточують людину (сонячні затемнення, зміну пір року, повені і навіть звичайні блискавки під час грози) відбуваються не тому, що так хтось забажав, це не є кара богів, а через об'єктивні причини, і ці причини можна досліджувати. Звичайно, цей процес відбувався не одразу. Він проходив у вигляді так званих "наукових програм" – сукупності думок різних філософів, що з різних сторін намагалися досягнути дійсність. Можемо виділити три головні програми.



Платон

Першою науковою програмою стала *математична програма*, представлена Піфагором¹ і пізніше розвинена Платоном². У її основі, як і в основі інших античних програм, знаходиться уявлення про те, що оточуючий нас світ, Космос – це вираження цілого ряду певних первісних сутностей, які при певних розумових зусиллях можна досягнути. Відповідно відмінність полягає лише у тому, якими є ці сутності та як ми їх досягаємо. Піфагор знайшов ці сутності в числах і представив саме числа як першо-

основу світу (щось схоже на світ із відомого фільму "Матриця"). Платонівська фізика є набором умоглядних міркувань про зв'язок будови речовини з геометричними фігурами. Відповідно, вогонь як "найрухливіше" і "найгостріше" складається із пірамід; земля як щось "надійне", "міцне" – із кубів; повітря – із восьмигранників; вода – із 20-тигранників тощо. Відповідно до математичної програми, світ – це впорядкований Космос, порядок якого подібний до порядку всередині людського розуму. Отже, саме через це можливий раціональний аналіз оточуючої нас реальності.

Упорядкованість Космосу є наслідком існування якогось всеосяжного розуму, що наділив природу призначенням і метою. Через споріднення розумів (надсвітового й людського) він доступний безпосередньому сприйняттю людини. Ми можемо розуміти світ тому, що той розум, що його створив, був подібний нашому, а отже, міркуючи як він, ми можемо досягнути призна-

¹ *Піфагор* (давньогрец. Πυθαγόρας, 570–497 до н. е.) – давньогрецький філософ, релігійний і політичний діяч, засновник піфагореїзму.

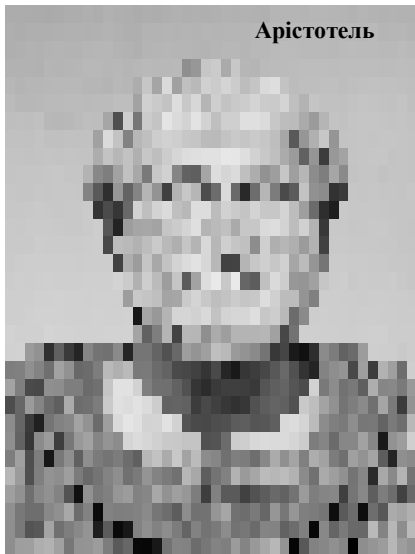
² *Платон* (грец. Πλάτων, 427–347 або 348 до н. е.) – давньогрецький мислитель, засновник філософської школи, відомої як Академія Платона.

чення і суть будь-якого явища. Розумовий аналіз за світом виявляє, що ми бачимо його справжню сутність. Пізнання сутності світу вимагає від людини свідомого розвитку її пізнавальних можливостей – розуму, інтуїції, досвіду, оцінки, пам'яті, моральності (тому що пізнання кінцевих причин буття, на думку античних філософів, є найглибшою потребою не лише розуму, але й душі). Як бачимо, подібні роздуми не передбачають якихось експериментів чи інших методів, які використовує сучасна наука. Головним у пізнанні світу є роздуми, і лише певними міркуваннями ми можемо досягнути суті Космосу.

Другою науковою програмою античності, що виявила величезний вплив на весь подальший розвиток науки, став *атомізм*. Ідея цієї програми належить видатному філософу античності *Демокріту*¹. Суть атомізму полягає в тому, що початок всього – це неподільні частки, атоми, й оточуюча їх порожнеча. Ніщо не виникає з неіснуючого й не йде в небуття. Виникнення речей є з'єднання атомів, а знищення – розпадання на частини, на атоми. Причиною виникнення є вихор, що збирає атоми разом. Атоми Демокріта не мають призначення чи мети, це найменші, неподільні (від грец. слова *άτομος* – неподільний) частинки, які існували і будуть існувати завжди, а всі зміни, що відбуваються у всесвіті, це лише зміни співвідношень між атомами. Окрім Демокріта, подібні думки поділяли й інші філософи, зокрема, Левкіпп, Епікур тощо. Отже, з появою механістичного методу, який вимагав пояснення сутності природних процесів механічним з'єднанням окремих частин, і через півтори тисячі років саме атомізм стане тією основою, яка відіграє значну, вирішальну роль у науковій революції та формуванні сучасного наукового образу світу.

¹ *Демокріт Абдерський* (грец. Δημόκριτος, приблизно 460–370 роки до н. е.) – давньогрецький філософ, засновник атомістичної гіпотези пояснення світу.

Арістотель



Третьою науковою програмою античності стала *програма Арістотеля*¹. Саме Арістотель був тією людиною, яка запропонував виділення окремих напрямків дослідження у відносно самостійні науки зі своїми предметом і методом.

Важливо, що у своїй програмі Арістотель відмовляється визнати існування ідей або математичних об'єктів незалежно від речей, як було у піфагорійців, але й не погоджується з появою речей з атомів.

Він пропонує ідею про те, що все у Всесвіті визначають чотири причини буття: формальна, матеріальна, дієва та цільова:

- 1) матеріальна причина: із чого щось зроблено?
- 2) дієва причина: ким щось зроблено?
- 3) формальна причина: чим є те, що зроблено?
- 4) цільова, або кінцева причина: заради чого щось зроблено?

Арістотель проілюстрував свою думку на прикладі гончара. Глина – це матеріал – матеріальна причина, це те, із чого щось утворилося. Глечик – це форма – формальна причина, та, яким щось стало. Сам гончар або гончарний круг – це дієва – за допомогою чого матеріал отримав форму. Заробити на життя – це цільова – навіщо гончар витратив свої зусилля. Відповідно, саме сукупність цих чотирьох причин буття і формує весь світ за Арістотелем. Окрім того, він обґрунтував механічну поведінку тіл, про яку буде сказано при порівнянні його думок із більш пізніми уявленнями Галілео Галілея.

¹ *Арістотель* (грец. Αριστοτέλης, 384–322 до н. е.) – давньогрецький учений-енциклопедист, філософ і логік, засновник класичної (формальної) логіки.

Заслугою Арістотеля стало написання праці "Органон", трактату з логіки, що створив науці фундамент для логічно обґрунтованого мислення. Наука, на його думку, має підкорюватися лише логічним думкам. Окрім того, Арістотель систематизував накопичені до цього часу наукові знання, об'єднавши їх у єдину систему.

Проте, незважаючи на певні зародки наукового мислення, "антична наука" – це ще не "наука" в сучасному значенні цього слова. Ще *немає поняття універсального закону природи*, як певної незмінної закономірності, якій мають підкорюватися всі явища у світі. Ще *неможливе застосування математики в межах фізики* – це різні науки, між якими немає точок дотику. Навіть за допомогою математичної програми давньогрецькі філософи лише розмірковували про те, що суттю всього є числа, не намагаючись безпосередньо застосувати певні математичні вирази до опису фізичних явищ. Ще *відсутній експеримент* як штучне відтворення природних явищ, при якому усуваються побічні й несуттєві ефекти і який має на меті підтвердити або спростувати те або інше теоретичне припущення.

Природознавство греків було абстрактно-пояснювальним. Слід зазначити, що воно майже не мало практичного застосування. Розмірковуючи про суть та причини буття, філософи античності не намагалися зробити з цього якісь конкретні висновки, які можна було б застосувати в навігації, будівництві та військовій справі. Із сучасної точки зору, це були досить наївні спроби досягнути дійсність лише одними міркуваннями, проте саме вони стали основою, на якій потім буде побудована справжня, сучасна наука.

Отже, що і як уявляли люди про наш світ із часів античності, і як саме ці погляди змінювалися з часом? Розглянемо це на прикладі однієї з наук, а саме, космології.

Тема для самостійного опрацювання

Наукова думка на сході (Китай, Індія) у часи античності.

Запитання для самоконтролю

1. Що вивчає природознавство і яка його мета?
2. Що таке "образ світу" і які образи світу бувають?
3. Коли і як виник науковий образ світу?
4. Що таке "перехід від міфу до логосу" і як він відбувався?
5. Які наукові програми були в прадавній Греції?
6. У чому полягає атомізм і хто його створив?
7. Який внесок у розвиток наукової думки зробили Піфагор, Платон та Арістотель?
8. Чому "наука" античності не була наукою в сучасному розумінні цього слова?

Лекція друга

КОСМОЛОГІЯ. НАУКОВА ДУМКА В ЧАСИ АНТИЧНОСТІ ТА В СЕРЕДНІ ВІКИ

Особливу роль серед природничих наук завжди відігравала і відіграє космологія. **Космологія** (грец. κοσμολογία, від грец. κόσμος – всесвіт і грец. λογία – вчення) – вчення про Всесвіт у цілому та про місце людства в ньому. Термін *космологія* уперше ввів філософ Крістіан Вольф (1730), а в наш час його використовують у фізиці, філософії, езотеризмі та релігії. Для розгляду еволюції уявлень про образ світу слід звернутися до однієї з частин цього вчення, а саме, до фізичної космології. Фізична космологія – підрозділ астрономії, який досліджує фізичне походження Всесвіту і його природу в найбільших масштабах.

На своєму ранньому етапі фізична космологія була тим, що зараз відомо як дослідження небосхилу та небесна механіка. На всіх етапах свого розвитку вона віддзеркалювала еволюцію уявлень людства про світ у цілому. Становлення нової космологічної картини світу стосувалося завжди як природничої, так і гуманітарної галузі та дуже часто породжувало конфлікти між людьми різних переконань.

Залежно від того, як люди уявляли космологічну картину Всесвіту, можна виділити чотири глобальні природничі революції, тобто кардинальні, докорінні зміни космологічних і астрономічних уявлень. Перша глобальна природнича революція, що змінила астрономію, космологію і фізику – це створення вчення про *геоцентричну систему світу*. Перехід від міфологічних уявлень про Сонце, планети, зірки, як певних чарівних істот, до уявлення про конкретні небесні тіла, що рухаються в космосі за певними законами, а центром Всесвіту, навколо якого все обертається, є Земля. Ця революція відбулася ще в часи античності.

Друга глобальна природнича революція: *перехід від геоцентризму до геліоцентризму*, а від нього до *поліцентризму*, тобто вчення про множинність зоряних світів. Саме ця революція та люди, що її створили (Микола Коперник, Джордано Бруно, Галі-

лео Галілей та ін.) ознаменувала закінчення середньовічного релігійного образу світу та перехід до сучасного наукового світу.

Третя глобальна природнича революція означала принципову відмову від усякого центризму, *заперечення наявності будь-якого центра Всесвіту*. На сьогодні відомо, що Всесвіт не має жодного центру, і в якому напрямку й як далеко ми б не заглядали, він всюди майже однаковий, однорідний та ізотропний. Її період – перша половина та середина XX ст., коли відбувся бурхливий розвиток астрономії, були відкриті галактики поза межами нашої та була сформована теорія Великого вибуху.

І, нарешті, остання, четверта глобальна природнича революція припускає деякий *синтез загальної теорії відносності з квантовими (дискретними) уявленнями про будову матерії в єдину фізичну теорію*, формулювання єдиної теорії всіх фундаментальних фізичних взаємодій: гравітаційної, електромагнітної, слабкої і сильної, внесення в цю теорію таких дивних субстанцій, як темна матерія і темна енергія, про які буде сказано трохи далі. Не лише розуміння будови нашого Всесвіту, але і його цілісного усвідомлення. На відміну від перших трьох, вона ще не закінчилася, ми ще живемо в її час, і невідомо, які ще відкриття про будову Всесвіту нас чекають.

Повернемося у часи античності. Першою (з точки зору космології) картиною світу буда геоцентрична. Геоцентрична картина світу – уявлення про світобудову, згідно з яким центральне положення у Всесвіті займає нерухома Земля (Гея), навколо якої обертаються Сонце, місяць, планети та зірки. Із найдавніших часів Земля вважалася центром світу. При цьому передбачалася наявність центральної осі Всесвіту й асиметрія "верх-вниз", світ небесний завжди відрізнявся від світу підземного. Землю від падіння втримувала якась опора, що раннім цивілізаціям уявлялась гігантською міфічною твариною або тваринами (черепахи, слони, кити).

Одні філософи (напр., Фалес Мілетський) бачили опору, що втримує Землю від падіння, у природному об'єкті – світовому океані; інші (Анаксимандр Мілетський, піфагорійці, Парменід і Птолемеї) припускали, що Всесвіт є центральносиметричним і в ньому відсутній будь-який окремий напрямок. Тому Земля, що пере-

буває в центрі Космосу, не має причин рухатися в будь-якому напрямку, тобто вона вільно спочиває в центрі Всесвіту без опори.

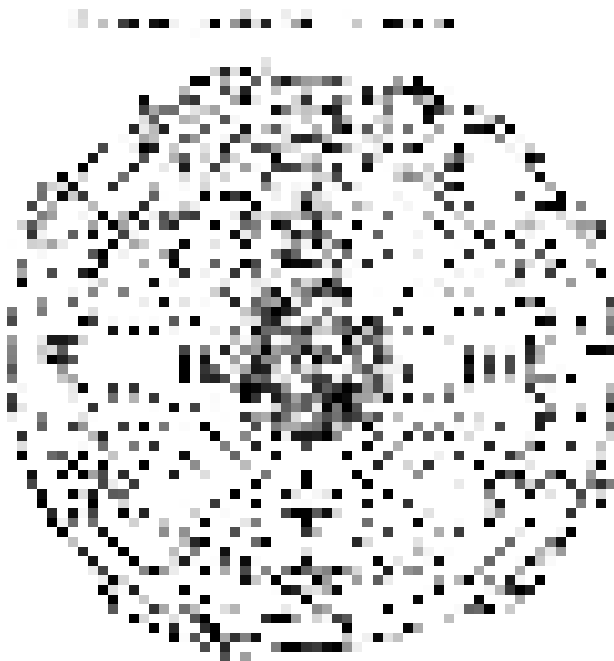
Отже, не треба шукати фізичну причину нерухомості Землі, оскільки саме її місцезонашування за визначенням є центральним і нерухомим. Були такі, що вважали, ніби Земля втримується від падіння стисненим повітрям (Анаксимен, Анаксагор). Зауважимо, що всі ці філософи вважали Землю плоским диском, проте така думка була не єдиною, не слід плутати між собою уявлення про форму Землі та про її місцезонашування у Всесвіті. Ще в античні часи принципово новий крок зробив Піфагор, який припустив, що Земля має форму кулі. У цьому його підтримали не тільки представники його школи, піфагорійці, але й багато інших філософів (Парменід, Платон, Арістотель). Так виникла канонічна форма геоцентричної системи, що згодом активно розроблялася давньогрецькими астрономами: куля-Земля перебуває в центрі сферичного Всесвіту; видимий добовий рух небесних світил є відображенням обертання Космосу навколо світової осі.

Існували й інші думки щодо будови Всесвіту, але вони викликали великий супротив у суспільства. Наприклад, геліоцентрична гіпотеза Арістарха Самоського, одна з перших ідей, що суперечила геоцентризму, призвела до реакції з боку представників релігійної філософії: Арістарха закликали притягнути до суду за те, що він рухає з місяця "вогнище миру", маючи на увазі Землю.

Найбільші труднощі в давньогрецької астрономії викликала нерівномірність руху небесних світил. Вони вважалися божествами, яким слід робити тільки рівномірні рухи, однак спостереження показували, що небесні тіла рухаються не по ідеальних колах чи еліпсах, а досить складним шляхом, що суперечило міфологічним уявленням про суть цих об'єктів. Для подолання цих труднощів створювалися моделі, у яких складні видимі рухи планет пояснювалися як результат додавань декількох рівномірних рухів по колу. Так, врешті-решт, була створена *геоцентрична система Клавдія Птолемея*¹, що стала абсолютною істиною

¹ *Клавдій Птолемей* (грец. Κλαύδιος Πτολεμαῖος; бл. 87–165 рр.) – давньогрецький математик, астроном, географ, астролог.

для західного християнського світу аж до XV ст. Він створив "Альмагест" (лат. *Almagest*, від араб. *kitabul-mijisti* – велика побудова) – класичну працю, що з'явилася близько 140 року і містила повний комплекс астрономічних знань Греції та Близького Сходу того часу. Її повна назва "Велика математична побудова з астрономії в 13 книгах", або коротко "Мегісте" (грец. "*megistos*" – найбільший), що в арабів перетворилося на "Альмагест".



Геоцентрична система Клавдія Птолемея¹

Основні положення, на яких будується система Птолемея, такі:

- Небозвід – сфера, що обертається;
- Земля є кулею, що розміщується у центрі світу;

¹ Тут і далі використано (зокрема, рисунки) інтернет-ресурс Wikipedia <http://wikipedia.org/>

- Земля може вважатися крапкою порівняно з відстанню до сфери нерухомих зірок;
- Земля нерухома.

Система Клавдія Птолемея добре пояснювала видимий рух небесних тіл. Вона панувала в науці 13 століть, вважалася ідеальною, і тому вносити до неї будь-які зміни були заборонено. Вона дозволяла визначати і пророкувати розташування небесних тіл у той або інший момент, і настільки добре пояснювала рух небесних тіл, що майже півтори тисячі років ніхто не сумнівався, що світ влаштований саме так.

Після того, як світ перейшов з епохи античності у часи середньовіччя, відбулися великі зміни, і, у тому числі, в уявленнях про картину оточуючого людину світу.

По-перше слід зазначити, що, на відміну від античності, середньовічна наука не запропонувала нових наукових програм, але водночас вона не обмежувалася тільки пасивним засвоєнням досягнень античної думки. Було запропоновано низку нових інтерпретацій античної науки, вона уточнювалася, були запропоновані нові поняття та методи дослідження. Проте основний інтерес до явищ природи полягав у пошуку ілюстрацій до істин моралі та релігії. Будь-які проблеми, у тому числі й природничі, обговорювалися за допомогою тлумачення текстів Святого писання. Природа більше не сприймалася як щось самостійне. Вона створена Богом для блага людини. Природа не є безумовною реальністю сама по собі, вона така й існує саме так лише тому, що так забажав Бог, а отже, всі відповіді на всі наукові запитання можна знайти, лише читаючи Біблію.

Античні й середньовічні мислителі по-різному ставилися до явищ у світі. Наприклад, Арістотель дивувався якому-небудь природному феномену, а потім починав шукати йому пояснення, оскільки був переконаний у можливості довідатися щось про річ із цілковитою певністю. У той же час один із найвидатніших філософів і богословів середніх віків Августин Блаженний вважав, що наші знання завжди будуть обмежені, він визнавав чудо і вважав, що найбільше чудо із усіх чудес – це світ, створений Господом.

Середнім вікам було притаманне уявлення про створення світу Богом із нічого, що суперечить античному світорозумінню. За допомогою релігійного світогляду немає потреби шукати чи-

сла як основу буття, чи неподільні атоми, оскільки все, що нас оточує, є результатом творіння, а отже, дослідити чи досягнути його неможливо. Саме в цей час домінуючим стає *теологізм* – тлумачення явищ дійсності як таких, що існують за Божим промислом в ім'я виконання заздалегідь передбачених цілей. Світ служить людині, створеній за образом й подобою Бога, щоб вона була володарем світу. Тварини і рослини, моря і океани, Сонце і Місяць – все це існує лише для потреб людини. Оскільки людина є господарем цього світу, то вона має право переробляти цей світ так, як вважає за потрібне. Як тільки природа втратила свій статус безумовної реальності, наука про природу втратила своє колишнє значення і стала розглядатися або символічно, або в аспекті своєї практичної користі.

Безумовною реальністю для християнства є лише Бог, а вивчення його творіння мало сенс тільки з погляду досягнення його могутності і мудрості, але не мало прямого зв'язку ні з пізнанням Бога, ні з головною справою людини – порятунком душі. Природа, будучи несамостійною, не дає можливості пізнати причини й підстави свого власного існування: вони не можуть бути відкриті людині на Землі. Усі відповіді на всі запитання вже прописані у Святому писанні, вивчати природу немає жодного сенсу, оскільки вона така лише тому, що так забажав Бог. Розуміння світу не має жодного сенсу, єдине, що важливо для кожної людини – це душа, а отже, єдине, над чим слід міркувати, – як її врятувати для подальшого вічного життя, а весь оточуючий світ є лише проміжним етапом існування, випробування душі перед тим, як вона перейде у справжній, потойбічний світ.

Характерна риса середньовічної свідомості – моральний символізм, тобто уявлення про те, що все наповнене вищим змістом, має коріння в добре відомому новозавітному: "Споконвіку було Слово, і Слово було в Бога, і Слово було Бог". До природничої літератури належить насамперед Біблія, а також ті роботи, метою яких є не стільки опис природних явищ та їх пояснення в природничому плані, скільки їх символічне тлумачення.

Головні специфічні риси середньовічного світогляду такі:

✓ діяльність людини сприймалася в руслі релігійних уявлень, а все, що суперечило догматам церкви, заборонялося спеціальними декретами. Усі погляди на природу проходили через

цензуру біблійних концепцій. Будь-які думки, що суперечили Біблії, вважалися єретичними та заборонялися;

✓ середньовічна картина світу не припускала існування концепції об'єктивних законів, без якої не могло оформитися природознавство. Закон – необхідний і достатній зв'язок певних явищ. Середньовічний мислитель шукав не зв'язок між явищами, а відношення їх до Бога, місце в ієрархії речей. Дослідження світу важливе лише для розуміння того, що є добро, а що є зло, а оскільки наш світ створив Бог, то ніяких об'єктивних законів у ньому не може існувати;

✓ зусилля зосереджувалися не на аналізі речей, а на аналізі понять. Принципово не піддослідний стиль умоглядної схоластичної науки, пусті теоретизування і відірваність від реальної дійсності, тобто те, чим займалася наука того часу. Запитання, які цікавили тогочасних філософів, стосувалися саме питань віри – скільки ангелів може поміститися на кінчику голки? Чи може всемогутній Бог створити каміння, яке не зможе підняти? Окрім того, багато століть дискутувалося дуже важливе й актуальне питання: чи є душа у жінки?

Як бачимо, наука і наукові знання в Середні віки зазнали великих втрат. Людство втратило величезну кількість знань, які мало в часи античності, а замість них не прийшло майже нічого нового. Середньовічна наука майже не відповідала критеріям науковості. Наука ставала засобом розв'язання суто практичних завдань. Наприклад, арифметика й астрономія минулого, включаючи геоцентричну систему світу Птолемея, необхідні тільки для обчислення дат релігійних свят, оскільки для того, щоб розрахувати точну дату Великодня, а відповідно і великого посту, необхідно дуже добре знати закони руху Землі та Місяця.

Наука втратила одну із самих головних якостей античної науки, у якій наукове знання розглядалося як самоціль, пізнання істини здійснювалося заради самої істини, а не заради практичних результатів. Зберігаються лише залишки того конгломерату наукових знань, які мала античність, викладені у творах тих античних авторів, що визнавалися християнською церквою. Перегляду ці знання не підлягали, їх можна було тільки коментувати.

Розвивалися деякою мірою такі специфічні галузі знань, як астрологія, алхімія, ятрохімія, натуральна магія, що містили в

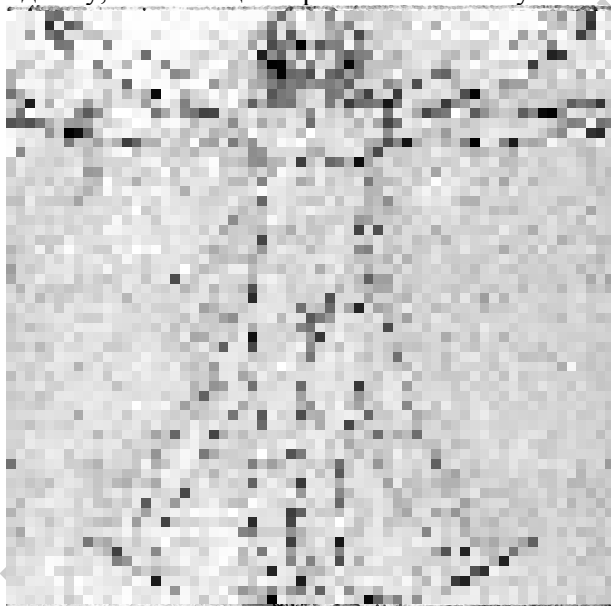
собі зародок майбутньої експериментальної науки, проте вони використовувалися лише для прикладних задач, наприклад будівництва соборів чи створення нової зброї. Забуті знання античності поступово почали повертатися, зазвичай зі сходу, з арабських джерел. Зокрема, у XII ст. у науковому побуті стала використовуватися вся наукова спадщина Арістотеля.

І в цей час відбулося досить цікаве явище – наука зіштовхнулася з теологією і прийшла з нею в протиріччя. Біблія не могла пояснити те, що пояснювала наука, однак це ще не стало основою для того, щоб релігійний світогляд пішов у минуле. Розв'язком цього протиріччя стала концепція двоїстої істини, тобто визнання права на співіснування "природного розуму" поряд з вірою, заснованою на одкровенні. У цей час спостерігаються поступові перші кроки до механістичного пояснення світу. З'являються поняття порожнечі, нескінченного простору і прямолінійного руху. Важливим було створення умов для точного вимірювання. У науці аж до епохи Відродження точне вимірювання природних процесів вважалося неможливим. Відбувається бурхливий розвиток астрології, що містить у собі зародки майбутньої астрономії та потребує досить точних вимірювань. Великі географічні відкриття потребували нової, більш точної навігації, що знову ж таки призводило до розвитку астрономії та появи нових приладів. Розпочалась математизація фізики.

Однак середньовічний світогляд почав обмежувати й стримувати розвиток науки. Необхідна була зміна світогляду, і вона відбулася в епоху, що дістала назву Відродження. Саме ця революція у світогляді стала передумовою появи сучасної науки. Головне, чому це відбулося – епоха Відродження зробила величезний внесок у розвиток наукової думки завдяки новому розумінню місця і ролі людини у світі. Людину стали розуміти відтепер не як природну істоту, а як творця самої себе, що й вирізняє її поміж інших живих істот.

Фактично, людина стає на місце Бога: вона сама свій творець, володар природи. Ця думка не притаманна античному світу, оскільки для нього природа – це те, що існує само по собі, що ніким не створене. Для античної науки небесні тіла – це щось принципово відмінне від земного світу, це божественні істоти, і створити їх за допомогою знарядь і небесного матеріалу було б рівносиль-

не створенню богів, що вважалось блюзнірською для античності думкою. Водночас для Середньовіччя в можливості створення світил немає нічого блюзнірського: християнство знімає з природи її сакральний характер і світила мисляться як створені, тільки не людиною, а Богом. Відродження робить наступний крок – людина відчуває себе рівним Богу. Античність віддавала перевагу спогляданню, вважаючи, що лише воно долучає людину до сутності природи, до вічного. Лише філософськими розмірковуваннями можна досягнути суті речей, у той час як змінювати їх людині не під силу, оскільки це творіння іншого світу.



Вітрувіанська людина Леонардо да Вінчі

Середні віки наголошували на діяльності у морально-релігійній сфері, яка по суті те саме, що й споглядання. Проте вони зняли заборону на зміну світу, оскільки він був створений Богом для людини, а отже, людина може робити з ним все, що забажає. Відродження надало людській діяльності відтінок божественності: людина не просто задовольняє свої земні потреби, вона творить світ, красу, саму себе. В епоху Відродження вперше сти-

рається межа між наукою як осягненням суцього і практично-технічною діяльністю. Відбувається стирання граней між теоретиками-вченими та практиками-інженерами. Видатні діячі епохи Відродження намагалися поєднувати різні види діяльності. Якщо взяти того ж Леонардо да Вінчі, то він був одразу і художником, і вченим, і інженером, він досліджував будову людського тіла і намагався винайти засоби, які б дозволили людині літати. Відроджуючи античні традиції на новому рівні, діячі цієї епохи відчували себе творцями, які можуть не тільки приймати світ, що був створений Богом, але й змінювати його за власними бажаннями.

Саме епоха Відродження призвела до наступного етапу розвитку картини світу, а саме, до наукової революції XVI–XVII ст., до становлення класичної науки і формування сучасного, наукового образу світу.

Тема для самостійного опрацювання

Наукова думка середньовіччя близького сходу.

Запитання для самоконтролю

1. Що вивчає космологія?
2. Які були глобальні природничі революції?
3. У чому полягає теорія геоцентризму, ким і як вона розроблялася?
4. У чому полягає головна заслуга Клавдія Птолемея?
5. Чим середньовічний світогляд відрізняється від античного?
6. У чому полягав теологізм?
7. Які проблеми мала наукова думка в часи Середніх віків?
8. Які науки розвивалися в середньовіччі і чому?
9. Чим світогляд епохи Відродження відрізняється від середньовічного?
10. Як епоха Відродження сприяла появі сучасної науки?

Лекція третя

НАУКОВА РЕВОЛЮЦІЯ XVI–XVII СТ. І СТАНОВЛЕННЯ КЛАСИЧНОЇ НАУКИ

Відправною точкою наукової революції, у результаті якої виникла класична наука і сучасне природознавство, стала поява книги Миколи Коперника¹ "Про обертання небесних сфер" (*De revolutionibus orbium coelestium*) у 1543 р. У цій праці була запропонована нова *геліоцентрична система* будови світу, яка суперечила прийнятій у середні віки системі Клавдія Птолемея.

Геліоцентричну систему Коперника можна сформулювати у вигляді семи тверджень, а саме:

- орбіти і небесні сфери не мають загального центру;
- центр Землі не є центром Всесвіту, а лише центром мас і центром орбіти Місяця, єдиного тіла, що дійсно обертається навколо Землі;
- усі планети рухаються по орбітах, центром яких є Сонце, і тому саме Сонце є центром світу;
- відстань між Землею і Сонцем дуже мала порівняно з відстанню між Землею та нерухомими зірками;
- добовий рух Сонця є уявним і викликаний ефектом обертання Землі, що повертається один раз за 24 год навколо своєї осі, яка завжди залишається паралельною сама собі;
- Земля (разом із Місяцем, як і інші планети), обертається навколо Сонця, і тому ті переміщення, які, як здається, робить Сонце (добовий рух, а також річний рух, коли Сонце переміщується по Зодіаку) є не що інше як ефект руху Землі;
- цей рух Землі й інших планет пояснює їхнє розташування та конкретні характеристики руху планет.

Проте геліоцентричні ідеї, викладені в праці Коперника, були всього лише припущенням, гіпотезою, що потребувала доказу.

¹ Миколай Коперник (пол. *Mikołaj Kopernik*, лат. *Nicolaus Copernicus Torinensis*, 1473–1543) – польський астроном, математик, механік, економіст, найбільш відомий як автор геліоцентричної системи світу.

На той час геоцентрична та геліоцентрична системи однаково добре пояснювали рух зірок і планет, а отже, для того, щоб зробити остаточний вибір на користь однієї з них, потрібні були нові експериментальні факти та теорії.

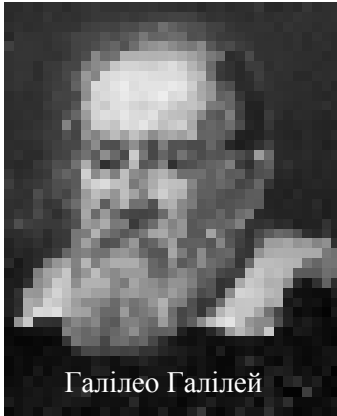


Геліоцентрична система Коперника

Пошук аргументів на користь гіпотези Коперника і став основним завданням наукової революції XVI–XVII ст., яка починається з робіт *Галілео Галілея*¹. Головна заслуга Галілея полягає в тому, що він сформулював головні методологічні й філософські принципи, які стали основою розвитку всієї науки Нового часу. Галілей був першим, хто поєднав експеримент з математи-

¹ *Галілео Галілей* (італ. *Galileo Galilei*, 1564–1642) – італійський фізик, механік, астроном, філософ, математик, що зробив значний вплив на науку, першим використав телескоп для спостереження небесних тіл.

кою, розглядаючи математичні абстракції як закони, що керують фізичними процесами в реальному світі. Це повернення до античної математичної наукової програми, але вже на нових, більш глибоких засадах.



Галілео Галілей

Вихідним посиленням до всієї роботи Галілея було висування аргументу, що для формулювання чітких суджень щодо природи вченим слід враховувати тільки об'єктивні (що піддаються точному вимірюванню) властивості (розмір, форма, кількість, вага, рух), тоді як доступні сприйняттю властивості (колір, звук, смак, дотик) слід залишити без уваги як суб'єктивні. Лише за допомогою кількісного аналізу наука може одержати правильні знання про світ.

Схоластичні міркування про Всесвіт мали б поступитися місцем експериментальному дослідженню з метою розуміння чітких математичних законів. Лише розмірковуючи про світ, ми ніколи не збагнемо його, ми повинні досліджувати Всесвіт, ставити експерименти, зіставляти їх із математичними моделями та робити відповідні висновки. Експеримент для Галілея – це чітко проведений досвід, за допомогою якого дослідник ніби задає природі запитання, що його цікавлять. Відповіді мають бути підсумком чіткого, математичного осмислення отриманих результатів. Галілей, орієнтуючись на математику, ніби повертається, хоча й на більш високому рівні, до ідей Піфагора і Платона про числові основи буття. Математичний аналітичний метод Галілея приводив до механістичного тлумачення буття, вчений повністю заперечив якісне тлумачення природи.

Особливе значення мають відкриття Галілея в області механіки (механіка – підрозділ фізики, який вивчає рух). Саме дослідження руху є основою праці Галілея, які досить зручно порівняти із вченням Арістотеля про рух. Згідно з Арістотелем усі рухи поділяються на природні та вимушені. Наприклад, падіння

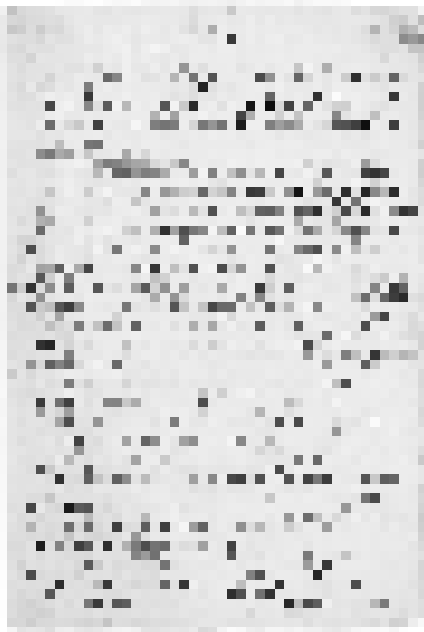
каміння до землі є природним рухом, оскільки він існує сам по собі, у той же час як рух воза чи корабля є вимушеним рухом, оскільки його спричиняє зовнішня дія. Галілей спростував Арістотелеве вчення про рух. Він показав, що якщо середовищем руху є не повітря, а вода, то деякі важкі тіла стають легкими і рухаються вгору. Отже, руху тіл вгору й вниз залежить від співвідношення питомої ваги тіл та середовища, а не від їхнього призначення.

Арістотель вважав, що важке тіло має падати з більшою швидкістю, ніж легке, через своє "стихийне притягання" до центра Землі як до свого природного місцезнаходження: чим важче тіло, тим сильніше це притягання. Використовуючи математичний підхід у своїх фізичних дослідях, Галілей спочатку спростував цю аксіому, а потім сформулював закон постійного прискорення для руху падаючих тіл – руху, що зовсім не залежить від ваги або складу даних тел. Це прискорення отримало назву *прискорення вільного падіння*, а причиною того, що деякі тіла рухаються повільніше, ніж інші, є певні додаткові сили, наприклад сила опору повітря. Також він проаналізував металний рух і дійшов до ідеї про інерцію, як певної головної характеристики руху, поки ще не сформульованої точно. Це відіграло надалі величезну роль у розвитку природознавства.

На відміну від Арістотеля, що вважав, начебто всі тіла прагнуть досягти місця, відведеного їм природою, і начебто всякий інший рух припиняється, якщо відсутній постійно поновлюваний зовнішній імпульс, Галілей вважав, що тіло, що рухається, прагне перебувати в постійному русі, якщо тільки яка-небудь зовнішня причина не зупинить його або не відхилить його від напрямку його руху. Так було спростовано одне з головних заперечень послідовників Арістотеля проти теорії Землі, як кулі: вони стверджували, що предмети, що перебувають на поверхні Землі, у випадку її руху неминуче виявилися б скинуті з неї й що будь-який металний снаряд, що запускається нагору під прямим кутом, обов'язково приземлявся б на деякій відстані від вихідної точки кидка. Оскільки не спостерігалось ні того, ні іншого, вони казали, що Земля повинна бути нерухомою, а отже вона не може обертатися, а отже це Сонце обертається навколо

Землі. Але, вводячи поняття інерції, Галілей доводив, що так як Земля рухається, то вона автоматично передає свій власний рух всім предметам, що перебувають на ній, або ж металним снарядам і, отже, загальний інерційний рух залишається непомітним спостерігачеві, що також перебуває на Землі. Снаряд, що рухається вгору, має таку саму швидкість, що і та точка на Землі, з якої був зроблений постріл, і саме тому ми не помічаємо знизу його бокову швидкість.

У часи Галілея більш-менш розробленим розділом фізики була статика – наука про рівновагу тіл під дією прикладених до нього сил. Засновником її був Архімед, якого Галілей вважав своїм учителем. Статика використовувалася в будівництві для розрахунку рівноваги, і тому мала велике практичне значення. Сам Галілей розробив інший розділ механіки – динаміку, науку про рух тіл під дією прикладених сил. Він сформулював перші закони вільного падіння тіл, дав строге формулювання поняття швидкості та прискорення, усвідомив вирішальне значення властивості руху тіл, у майбутньому названого інерцією. Саме Галілей уперше в історії сформулював саме поняття фізичного закону в сучасному значенні.



Нотатки Галілея щодо відкритих ним супутників планети Юпітер

Будучи не тільки вченим, але й інженером, Галілей вдосконалив і винайшов безліч технічних приладів, а саме: лінзу, телескоп, мікроскоп, магніт, повітряний термометр, барометр та ін. Досліджуючи через власноруч створений телескоп планету Юпітер,

він відкрив його чотири супутники, які називаються галілеєвими: Іо, Європа, Ганімед і Калісто. Тим самим остаточно спростовано геоцентричну систему світу, оскільки було показано, що не тільки Земля є центром, навколо якого все обертається, а й інші тіла також можуть бути такими центрами обертання.

Закони механіки Галілея разом з його астрономічними відкриттями підводили ту фізичну базу під теорію Коперника, якою сам її творець ще не володів. Із гіпотези геліоцентрична доктрина тепер починала перетворюватися на теорію. Галілей розпочав наукову революцію, яка привела до створення сучасної науки.

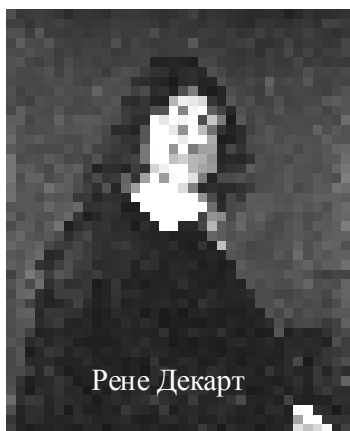
Проте залишилось не вирішеним питання про співвідношення земних і небесних рухів, незрозумілим був і рух самої Землі. Закони руху Галілея добре працювали на Землі, проте коли справа стосувалася космосу, вони поки що не могли нічого пояснити. Геліоцентрична гіпотеза Коперника поки так само мало відповідала реальному руху планет, як і система Клавдія Птолемея. На цей час припав сплеск інтересу до давньогрецької філософії, зокрема, до атомізму Демокріта. Саме ця концепція підказала правильну відповідь на запитання про небесний рух і багато в чому визначила подальший хід розвитку наукової думки.

Грецький атомізм висунув постулат, що Всесвіт складається із невидимих оку неподільних частинок, які вільно переміщуються в нескінченній, позбавленій якостей порожнечі та, зустрічаючись одна з одною і вступаючи в різні комбінації, утворюють всі предмети й явища видимого світу. У цій порожнечі немає ні верху, ні низу, ні центра: кожна точка простору сама по собі нейтральна й однакова з будь-якою іншою. Оскільки Всесвіт цілком складається з тих самих матеріальних частинок, то і Земля також є одним із випадкових скупчень цих частинок. При цьому вона і не спочиваюче тіло, і не центр Всесвіту.

Отже, не існує принципової різниці між небесним і земним, тому що і те й інше складається із тих самих атомів, або, як їх тоді почали називати, корпускул. А оскільки і довжина цієї порожнечі, і кількість частинок нескінченні, то цілком припустиме існування у Всесвіті безлічі "двійників" Землі й Сонця, також породжених стихійним рухом атомів. Такий підхід був принципово важливий для розв'язання проблеми співвідношення зем-

них і небесних явищ. Античність і Середньовіччя вважали небо і землю абсолютно різними світами, що живуть за принципово відмінними законами і правилами. Людина, мешканець земного світу, не могла навіть подумати про поширення дії земних законів на небесні сфери, місце життя богів. Рух небесних тіл більше не потребував такого поняття, як зовнішня зоряна сфера, і відтепер допускалося, що зірки можуть бути розсіяні нескінченно. Відкриття, які зробив Галілей за допомогою телескопа, виявили безліч зірок, що явно перебувають на величезній відстані одна від одної. Стало зрозуміло, що видимий людиною світ – це лише маленька частина Всесвіту.

Найкраще розроблена атомістична модель Всесвіту стала доповненням до геліоцентричної концепції Коперника. Уперше співзвуччя між цими двома системами вловив Джордано Бруно, заслугою якого стало висунення ідеї про нескінченність Всесвіту та множинності сві-



тів. Атоми Демокріта мали винятково кількісні характеристики – розмір, форму, рух і кількість, а не суб'єктивні властивості (смак, захід, дотик або звук). Атоми не можуть бути добрими чи злими, атоми не поділяються на земні та небесні. Усі видимі якісні зміни, що відбуваються з тими або іншими предметами та явищами, пояснюються різницею в кількості атомів, які вступають у різні комбінації один з одним.

Отже, атомістичний Всесвіт піддається математичному аналізу. Атоми не наділені ні метою, ні розумом, їх рух підлягає тільки законам механіки. Необхідно було лише зрозуміти ці закони – доповнити ідею Галілея новими математичними правилами, які б пояснили те, що люди бачили. Людиною, яка це зробила, був французький філософ і вчений *Рене Декарт*¹. Декарт вважав, що фізичний світ складається із

¹ *Рене Декарт* (фр. *René Descartes*, 1596–1650) – французький філософ, фізик, фізіолог, математик, основоположник аналітичної геометрії.

нескінченної кількості частинок, або "корпускул", які механічно зустрічаються одна з одною, злипаються й утворюють скупчення.

Узагальнюючи роботу Галілея, Декарт стверджував, що:

- корпускула, що спочиває, прагне зберегти свій стан спокою, якщо відсутній який-небудь зовнішній імпульс;
- корпускула, що рухається, прагне продовжувати свій рух по прямій лінії з колишньою швидкістю за умови, якщо ніщо не відхиляє її від шляху.

Таким чином, закон інерції був вперше однозначно сформульований з урахуванням критичного виправлення про лінійність. Декарт також стверджував, що будь-які відхилення від інерційного руху відбуваються в результаті зіткнення одних корпускул з іншими. Це доповнювало картину корпускулярного Всесвіту уявленням про винятково механістичний характер руху в ній. Декарт застосував свої теорії лінійної інерції та корпускулярних зіткнень до проблеми планетарного руху, тим самим розпочавши "знімати" з опису руху світил останні залишки античної фізики.

Однак все ще залишалася проблема: кругові рухи небесних тіл, які відстоювали Коперник і Галілей, були неможливі в атомістичному світі, де частки могли пересуватися тільки по прямій лінії або ж перебувати в стані спокою. Якщо якась планета ні з чим не зіштовхується, то згідно з такими міркуваннями вона не має рухатися по колу, а продовжувати нескінченно рух по прямій лінії, що повністю суперечить досвіду. Тому Декарт запропонував найважливіший фактор, що залишався відсутньою ланкою в поясненні планетарного руху: за відсутності якої-небудь іншої стримуючої сили інерційний рух планети, у тому числі й Землі, обов'язково прагнув би виштовхнути її по дотичній прямій від орбіти, що звивається навколо Сонця. Але існує якась сила, що притягує планети до Сонця або, як це казав сам Декарт, щось змушує планети постійно "падати" у напрямку до Сонця.

Отже, головна концепція Декарта про те, що фізичний Всесвіт як атомістичний схема керована законами механіки, стала провідною моделлю для вчених XVIII ст.

Проте космологія, не могла бути побудована без відповіді на такі два основні запитання:

1) якщо існує інерція, то чому Земля й інші планети постійно "падають" у напрямку до Сонця?

2) якщо Земля рухається і не є центром Всесвіту, то чому земні предмети падають на неї?

Висловлювалось припущення, що ці запитання взаємозалежні, і відповідь на них виявиться однаковою. Розроблялася також ідея про те, що між усіма матеріальними тілами діє деяка невідома сила притягання. Найважливішою проблемою нової космології виявлялось з'ясування природи і характеру цієї сили. Знайти й описати цю силу, а отже, і завершити наукову революцію, випало видатному англійському фізику – серу *Ісааку Ньютону*¹.



Сер Ісаак Ньютон

Головна заслуга І. Ньютона полягала в тому, що він довів існування тяжіння як універсальної сили – сили, яка одночасно змушувала каміння падати на Землю і була причиною замкнених орбіт, по яких планети оберталися навколо Сонця. Він об'єднав механістичну філософію Декарта з його думками про корпускули, закони Кеплера, ще одного вченого, що вивчав закономірності руху планет, і закони Галілея про земний рух, звівши їх у єдину всеосяжну теорію.

Ньютон встановив, що для того, щоб планети втримувалися на стійких орбітах з відповідними швидкостями і на відповідних відстанях, їх має притягувати до Сонця певна сила, обернено пропорційна квадрату відстані до Сонця:

$$F = G \frac{Mm}{r^2}.$$

¹ *Ісаак Ньютон* (англ. *Isaac Newton*, 1643–1727) – англійський вчений, що заклав основи сучасного природознавства, творець класичної фізики.

Він математично довів на підставі цього закону еліптичну форму планетних орбіт і зміну їх швидкостей. Уже не було потреби вводити небесні сфери Птолемея, оскільки згідно із законом всесвітнього тяжіння орбіти планет автоматично виходили такими, як ми їх бачимо. Так була отримана відповідь на найважливіші космологічні запитання: що спонукує планети до руху і як їм вдається утримуватися в межах своїх орбіт та чому важкі предмети падають на Землю? Це сила тяжіння, універсальна сила, що притягує будь-яку корпускулу у світі до всіх інших, корпускули Землі до корпускул Сонця, корпускули людини до корпускул Землі. Тяжіння діє між усіма тілами у Всесвіті. Таким чином, була розв'язана суперечка про будову Всесвіту і про співвідношення небесного і земного.

Окрім закону всесвітнього тяжіння, Ньютон, узагальнюючи праці інших вчених, сформулював інші закони механіки, які, як виявилось, управляють цілим Космосом.

Основні закони механіки I. Ньютон сформулював у своїй книзі "Математичні принципи натуральної філософії" (*Philosophia Naturalis Principia Mathematica*, 1686) у такому вигляді:

1) будь-яке тіло продовжує перебувати у стані спокою або рівномірного та прямолінійного руху доти, поки воно не змінить свій стан під дією прикладених сил;

2) зміна кількості руху пропорційна прикладеній силі і відбувається в напрямку тієї прямої, уздовж якої ця сила діє (у математичному вигляді це можна записати як $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a}$);

3) для будь-якої дії завжди є протилежна і рівна їй протидія, інакше кажучи, сили взаємодії двох тіл однакові і направлені в протилежні боки (у математичному вигляді $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$).

За допомогою трьох законів руху (закону інерції, закону прискорення та закону однакової протидії) і закону всесвітнього тяжіння Ньютон не тільки підвів науковий фундамент під закони Кеплера, але й пояснив морські припливи, орбіти руху комет, траєкторію руху гарматних ядер та інших металевих снарядів тощо. Усі відомі явища небесної та земної механіки були тепер зведені "під один дах", тобто під єдиний набір фізичних законів.

Стало зрозуміло, що кожна частинка матерії у Всесвіті притягує кожную іншу частинку із силою, що прямо пропорційна добутку їхніх мас і обернено пропорційною квадрату відстані між ними.

Хоча Ньютон і проголосив: "Гіпотез не вигадую!", підкреслюючи виняткову орієнтацію на досліди, але ж певну кількість гіпотез він запропонував. Вони відіграли дуже важливу роль у подальшому розвитку природознавства. Головною із них, яка підтверджувалася, як тоді здавалося, незліченною кількістю фактів, був принцип далекодії, тобто миттєва дія тіл одне на одне на різних відстанях без будь-яких посередніх ланок, через порожнечу. Тяжіння в теорії Ньютона діє нескінченно швидко на будь-яких відстанях, не маючи ніякого матеріального носія, це ж властивість нашого світу, що не потребує додаткового пояснення. Також можна сказати, що принцип далекодії неможливий без залучення понять абсолютного простору й абсолютного часу, також запропонованих Ньютоном.

Отже, космологія Ньютона ствердилася як база, як основа нового світогляду. Це була перша дійсно наукова картина світу, може й не досить досконала, але така, що на той час давала відповіді на всі найголовніші запитання.

На початку XVIII ст. кожна освічена людина знала, що Бог створив Всесвіт як складну механічну систему, яка складається із матеріальних частинок, які рухаються в нескінченному порожньому просторі за такими основними принципами, як інерція та гравітація. Ці принципи можна записати математично та провести їх аналіз. У цьому Всесвіті Земля оберталася навколо Сонця, а Сонце представляло одну із зірок, яких безліч.

Земля – лише одна з багатьох планет. Ані Сонце, ані Земля не були центром Всесвіту. І світ земний, і світ небесний підкорюються тим самим фізичним законам, тому між ними зникли колишні межі. Небо складається із матеріальної субстанції, а небесні рухи викликані природними механічними силами. Це було важливо не лише для розвитку науки і техніки, але й для розвитку людської свідомості. Із цієї картини світу випливало, що, створивши настільки складну й підлеглу строгому порядку систему як Всесвіт, Бог усунувся від подальшої діяльності або втручання в природу й надавши їй самій собі, щоб вона продов-

жувала існувати на основі тих зроблених і незмінних законів, які були закладені в ній при створенні світу. Людина більше не потребувала Бога для пояснення світу – лише механіка та її абсолютно чіткі закони. Практичним висновком із нової картини світу стало поєднання науки з виробництвом, промислова революція, у ході якої були створені сучасне суспільство і цивілізація.

Для прогресу та будівництва свого майбутнього людина більше не потребувала опори на Бога, а цілком розраховувала на свої сили й міць свого розуму. Таким чином, наукова революція остаточно перемогла і відбулося народження наукового образу світу.

Тема для самостійного опрацювання

Внесок Джордано Бруно, Едмонда Галлея та Йоганна Кеплера у утвердження наукової революції XVI–XVII ст.

Запитання для самоконтролю

1. Який вигляд мав світ згідно з уявленнями Миколи Коперника?
2. Що таке геліоцентризм і чому він ствердився не одразу?
3. Який головний внесок Галілея у розвиток наукової думки?
4. Які головні відкриття зробив Галілео Галілей?
5. Чим уявлення про світ Галілея відрізнялися від уявлень Арістотеля?
6. Хто започаткував ідею корпускулярної будови світу і в чому вона полягає?
7. У чому полягає закон інерції?
8. Які головні відкриття зробив І. Ньютон?
9. Сформулювати і пояснити закон всесвітнього тяжіння та три закони динаміки Ньютона.
10. Який вигляд мав світ з погляду вчених наприкінці наукової революції XVI–XVII ст.

Лекція четверта

ФІЗИЧНІ КАРТИНИ СВІТУ

Кожний образ світу (міфологічний, релігійний, науковий) може містити в собі декілька підобразів. Зокрема, наукова картина світу за часи свого розвитку пройшла декілька етапів, перший з яких етап домінування механічних уявлень про природу, коли механіка (розділ фізики, що вивчає рух) абсолютизувалася і вважалася єдиним та найбільш повним способом наукового опису реальності.

Варто зробити невеличке зауваження: основним у фізичній картині світу є поняття "матерія", з ним тісно пов'язана решта понять, і тому зміна фізичної картини світу пов'язана насамперед саме зі зміною уявлень про матерію. За означенням, *матерія* – це основа буття, що проявляється в усій різноманітності і багатогранності об'єктів, процесів, явищ мікро-, макро- та мегасвіту, тобто матерія – це абсолютно все, що нас оточує. До цієї категорії не належать такі речі, як душа або думка (хоча природа наших думок матеріальна і має свій матеріальний носій), і залежно від розуміння людиною суті матерії формувалися ті чи інші наукові образи, картини світу.

Перший із наукових образів – механічний. Механіка, це наука про рух, рівновагу тіл та взаємодію, що виникає при цьому між тілами. Вона сформувалася в XVI–XVII ст. Визначними вченими, які доклали зусиль до становлення сучасної механіки, були насамперед Галілей, Декарт і Ньютон. Основа механіки того часу – атомізм, уявлення про те, що абсолютно все у світі, від людини до світла, складається із атомів. Увесь світ, включаючи людину, – це сукупність величезної кількості неподільних частинок – атомів, що переміщуються в просторі і часі. Основне поняття в механічній картині світу – рух, і тому саме закони руху, тобто три закони Ньютона і закон всесвітнього тяжіння, є найфундаментальнішими законами світобудови.

Згідно з механічними уявленнями тіла мають внутрішню вроджену властивість рухатися рівномірно і прямолінійно, а відхилення від цього руху пов'язані з дією на тіло зовнішньої сили. Ця сила є силою всесвітнього тяжіння, тобто універсальною

властивістю тіл є притягання одне одного. Маса – міра інертності тіла, що визначає властивості руху.

У механічній системі світу діє введений Ньютоном принцип далекодії: взаємодія між тілами відбувається миттєво на будь-якій відстані, без будь-яких матеріальних посередників. Простір – це певна величезна "чорна скриня", що містить абсолютно всі тіла. У ньому не існує нічого, окрім атомів, а там, де немає атомів, існує абсолютна порожнеча. Відповідно, час у механічній картині світу існує незалежно від матерії, це певна "річка", що "тече" сама по собі, визначаючи послідовність подій. Час і простір існують окремо і не можуть один на одного впливати.

Усі події жорстко визначалися лише законами механіки. Із цим пов'язаний уявний експеримент, який запропонував у 1814 р. відомий французький фізик *П'єр-Симон Лаплас*¹. Він казав: "Ми можемо розглядати даний стан Всесвіту як наслідок його минулого і причину його майбутнього. Якби розум, якому в кожний певний момент часу були б відомі всі сили, що приводять природу в рух і положення всіх тіл, з яких вона складається, був також достатньо великим, щоб піддати ці дані аналізу, то зміг би досягнути єдиним законом рух найбільших тіл Всесвіту і найдрібнішого атома; для такого розуму нічого не було б незрозумілого і майбутнє існувало б у його очах точно так само, як минуле". Цей уявний експеримент, що дістав назву *демон Лапласа*, наочно демонстрував, наскільки абсолютизувалася механіка і всі події, всі явища, у тому числі, і свобода людської волі, трактувалися лише як наше неповне знання про світ. Фактично, свободі волі не залишилося у механічній картині світу місця – ми всі лише механічні машини, які діють за законами руху, і вся історія Всесвіту від першої до останньої миті визначена координатами та швидкостями відповідних корпускул або атомів, і навіть читач цієї книги читає її саме зараз лише тому, що мільярди років тому його атоми набули певних швидкостей.

Отже, можна стверджувати, що механічна картини світу стала розглядатися як універсальна, така, що описує природу в усій різноманітності її явищ.

¹ *П'єр-Симон Лаплас* (фр. *Pierre-Simon Laplace*, 1749–1827) – відомий французький фізик.

У XVIII – на поч. XIX ст. за допомогою механічної картини світу була розроблена земна, небесна і молекулярна механіки. Також це був період бурхливого розвитку техніки. Проте водночас почали накопичуватися емпіричні дані, що суперечили механічній картині світу. Для того, щоб пояснити нові явища, штучно вводилися нові припущення. Наприклад, для пояснення законів оптики було введено поняття *ефір* – певна невідчутна речовина, яка заповнює весь простір і в якій поширюється світло. Для пояснення теплових явищ було введено поняття *теплород* – рідина, що заповнює всі тіла, і переливаючи її від одного до іншого ми, відповідно, їх нагріваємо або охолоджуємо. Щоб пояснити відкриті Фарадеєм, Омом, Ампером та іншими вченими електричні та магнітні явища, були введені поняття *електрична* і *магнітна рідина*. Проте це фактично були "милиці", що суперечили головному принципу побудови наукових теорій – бритві Оккама: не треба робити більше припущень, ніж мінімально потрібно. Згаданий принцип лежить в основі всього наукового моделювання і побудови теорій – із набору інших еквівалентних моделей будь-якого явища вибрати найпростішу. Факти штучно підганялися під механічну картину світу і, врешті-решт, стало зрозуміло, що фізика потребувала істотної зміни уявлень про матерію, зміни фізичної картини світу.

Таким чином, у XIX ст. на зміну механічній виникає інша наукова картина світу – *електромагнітна*. Одним із її творців можна вважати англійського фізика *Майкла Фарадея*¹, який наголошував на необхідності заміни корпускулярних (дискретних) уявлень про матерію континуальними (неперервними). В електромагнітній картині світу змінюється погляд на матерію: тепер сукупність неподільних атомів переставала бути кінцевою межею поділу матерії. Межею вважалось єдине абсолютно безперервне нескінченне поле із силовими точковими центрами – електричними зарядами і відповідними хвильовими рухами в полі. Рух тепер розглядався як поширення коливань у полі, які описувалися не законами механіки,

¹ *Майкл Фарадей* (англ. *Michael Faraday*; 22 вересня 1791, Лондон, Англія – 25 серпня 1867, Лондон, Англія) – англійський фізик і хімік, основоположник вчення про електромагнітне поле



Майкл Фарадей

а законами електродинаміки. Поле є абсолютно безперервною матерією, а отже, порожнього простору, який був основним у механічній картині світу, існувати не може, оскільки будь-який порожній простір заповнений полями. Не існує і ніякого ефіру, взаємодія та хвилі поширюються в просторі самі по собі, не потребуючи ніякого матеріального носія.

Замість ньютонівської концепції далекодії приходить фарадєївський принцип близькодії – будь-які взаємодії передаються полем від точки до точки безупинно і з кінцевою швидкістю. Ця швидкість називається *швидкістю світла*, це фундаментальна фізична стала, властивість нашого Всесвіту, швидкість поширення електромагнітної взаємодії у вакуумі. Ця величина головна при описі всіх електромагнітних явищ і, як виявилось потім, не тільки їх. За визначенням, вона точно дорівнює 299 792 458 м/с, її значення також було розраховане в XIX ст.

Усі електромагнітні явища були зведені в єдину теорію і резюмовані видатним англійським вченим *Джеймсом Клерком Максвеллом*¹, який сформулював систему чотирьох рівнянь, які сьогодні так і називаються, *рівняння Максвелла*, та описують поведінку електричних і магнітних полів за наявності та за відсутності зарядів і струмів. Головними величинами, що входять до складу цих рівнянь, є поля (електричне та магнітне), заряди та струми. Ці рівняння посіли у фізиці те місце, яке раніше належало рівнянням Ньютона. Вони розглядалися як певна істина в останній інстанції, що дозволяє описати майже всі явища фізичного світу.

¹ Джеймс Клерк Максвелл (англ. *James Clerk Maxwell*, 1831–1879) – шотландський фізик, який створив теорію електромагнітного поля і дослідив, що воно поширюється у вигляді електромагнітних хвиль зі швидкістю світла.

Висновки із теорії Максвелла, як у свій час і механіка Ньютона, були абсолютизовані. Відомий вислів видатного фізика Кірхгофа, що "у фізиці не залишилося нічого невідомого й невідкритого", наочно демонструє, наскільки вчені були впевнені в тому, що остаточна істина ними вже досягнута, а залишилося лише декілька "темних плям", закривши які можна відкласти фізику і займатися іншими цікавішими речами.



Джеймс Клерк Максвелл та його рівняння

Застосування теорії Максвелла до середовищ, що рухаються, призводило до висновків про неабсолютність простору і часу. Але переконаність у їхній абсолютності була така велика, що вчені дивувалися своїм висновкам, називали їх дивними і відмовлялися від них. Спостерігалось певне протиріччя між розумінням матерії як певного виду поля і ньютонівськими уявленнями про простір і час. Усунути це протиріччя зміг *Альберт Ейнштейн*¹ у 1905 р., створивши спеціальну теорію відносності, де він висунув ідею відносності простору і часу. Згідно з цією теорією не існує ані абсолютного часу, ані абсолютного простору. І розміри тіла, і час, який ми спостерігаємо, залежать від нашої швидкості, чим вона більша, тим повільніше йде час, і тим коротший стає об'єкт. При наближенні до швидкості світла час майже зупиняється – для людини, що рухається з такою швидкістю, можуть пройти секунди, у той час як у іншому Всесвіті прой-

¹ *Альберт Ейнштейн* (нім. *Albert Einstein*, 1879–1955).

дуть мільярди років. Згодом, через десять років, Ейнштейн створив загальну теорію відносності – теорію, що описує природу гравітації. Можна сказати, що це була остання велика теорія, створена в межах електромагнітної картини світу. Це було пояснення природи тяжіння: поняття про відносність простору і часу й про кривину єдиного чотиривимірного просторово-часового континууму, що залежить від розподілу мас. Іншими словами, це була ідея про те, що біля великих масивних тіл час сповільнюється, а там, де немає ніяких мас, іде швидше, що простір не однорідний, і може викривлятися, а причиною цих викривлень є наявна в цьому просторі маса.



Альберт Ейнштейн

Таким чином, були сформовані уявлення про відносність простору і часу та залежність їх від матерії.

Простір і час перестають бути незалежними одне від одного й, зливаючись в єдиному чотиривимірному просторово-часовому континуумі, вони перестали бути самостійними, незалежними від матерії сутностями, взаємодіють між собою, існуючи лише в тісному взаємозв'язку.

Але знову, як і у випадку механічної картини світу, з'являлося все більше фактів, які електромагнітна картина світу не могла пояснити. Навіть теорія відносності вже не могла її врятувати. Зокрема, у 1897 р. було відкрито явище радіоактивності (перетворення одних хімічних елементів на інші, що супроводжується альфа-, бета- і гамма-випромінюванням), були побудовані моделі атома, що суперечать електромагнітній картині світу. У 1900 р. Макс Планк висунув припущення про дискретність процесів випромінювання, що було неприйнятним для уявлень класичної електродинаміки.

Отже, до кінця XIX ст. накопичилось багато невідповідностей теорії і досвіду, і саме через це на початку XX ст. замість електромагнітної сформувалася нова сучасна наукова картина світу. На той час існувало дві несумісні моделі матерії:

- 1) або вона абсолютно неперервна;
- 2) або складається із дискретних частинок.

Здавалося б, що це глухий кут, з якого немає виходу, але вихід був знайдений. У 1913 р. датський фізик *Нільс Бор*¹ запропонував свою модель поведінки атома, згідно з якою електрон, що обертається навколо ядра, у супереч законам електродинаміки не випромінює енергії. Він випромінює її порціями лише при перескакуванні з однієї орбіти на іншу. Це неможливо було пояснити за допомогою рівнянь Максвелла. Фактично, подібна інтерпретація поведінки атома еквівалентна твердженню, що в світі малих об'єктів діють абсолютно не такі закони фізики, як у світі великих. А через декілька років у 1924 р. французький фізик *Луї де Бройль*² висунув ще один постулат: кожній частинці відповідає певна хвиля, довжина якої залежить від швидкості, з якою рухається ця частинка. Кожному об'єкту незалежно від його природи властиві одночасно і властивості хвилі (неперервність), і дискретність (квантованість), тобто не існує ані окремо хвиль, ані окремо частинок, а те, що ми бачимо, залежить лише від того, за якими саме характеристиками ми стежимо в тому чи іншому експерименті. Ця ідея дістала назву *корпускулярно-хвильовий дуалізм*. Причому хоча вона ніяк не обмежується тільки мікросвітом, і кожному людину також можна розглядати як хвилю, людина також (теоретично) може інтерферувати через перешкоду чи дифрагувати на ґратці, але проявляються ці властивості саме у світі дуже малого. Стало зрозуміло, що рух, це лише частковий випадок фізичної взаємодії.

Була створена абсолютно нова наука – *квантова механіка*, де було показано, що всі події мають лише певні ймовірності, що ніякого демона Лапласа не може існувати, оскільки сама природа нашого світу має ймовірнісний характер. Замість реальних об'єктів стали розглядатися хвильові функції їх ймовірності, показано, що частинки можуть тунелювати через бар'єр або телепортуватися з одного місця на інше. Було відкрито, що існують чотири види фундаментальних фізичних взаємодій: окрім гравітаційної, про яку знав ще Ньютон, та електромагнітної, яка була досліджена у XIX ст., є ще сильна і слабка взаємодії. Так, саме сильна взаємо-

¹ *Нільс Генрік Давид Бор* (дат. *Niels Henrik David Bohr*, 1885–1962).

² *Луї де Бройль* (фр. *Louis-Victor-Pierre-Raymond*, 1892–1987).

дія тримає ядро атома як єдине ціле. Якби її не існувало, сили електромагнітного відштовхування миттєво зруйнували б цю структуру, і ніяких атомів у нашому Всесвіті не могло б існувати. Окрім того, є дуже важливий момент – ця картина світу містить у собі спостерігача як невід'ємну частину будь-якого експерименту. Фізичні явища залежать від того, чи спостерігаємо ми за ними, чи ні, і процеси при цьому можуть відбуватися абсолютно по-різному. Наприклад, якщо ми спостерігатимемо за окремим електроном, що пролітає крізь щілину, він буде вести себе як частинка, якщо ж ми не будемо на нього "дивитися", то він вже буде хвилину, нібито "відчуватиме" нашу до нього увагу.

Сучасна наукова картина світу остаточно сформувалася у 20-30 роки ХХ ст., вона актуальна і сьогодні, а чи є вона остаточною, чи, можливо, колись буде створена нова картина світу, достеменно невідомо. Головне, що фізики не повторюють помилки минулого, вважаючи, що остаточна істина врешті-решт уже досягнута, і завжди залишають місце для сумніву.

Теми для самостійного опрацювання

1. Головні уявлення спеціальної та загальної теорії відносності.
2. Головні уявлення та розвиток квантової механіки.

Запитання для самоконтролю

1. Які наукові картини світу існували?
2. У чому полягала механічна картина світу?
3. Який зміст у механічній картині вкладали в поняття часу та простору, які головні властивості мала речовина?
4. Що таке принципи далекодії і близькодії?
5. Що демонструє демон Лапласа?
6. Чому механічна картина світу поступається електромагнітній?
7. Які головні положення електромагнітної картини світу?
8. Які головні твердження теорії відносності?
9. Які були головні проблеми електромагнітної картини світу?
10. Які факти привели до появи сучасної картини світу?
11. У чому полягає корпускулярно-хвильовий дуалізм?
12. Які існують види фундаментальної взаємодії?
13. Чим відрізняється сучасна картина світу щодо участі спостерігача?

Лекція п'ята

МАТЕРІЯ

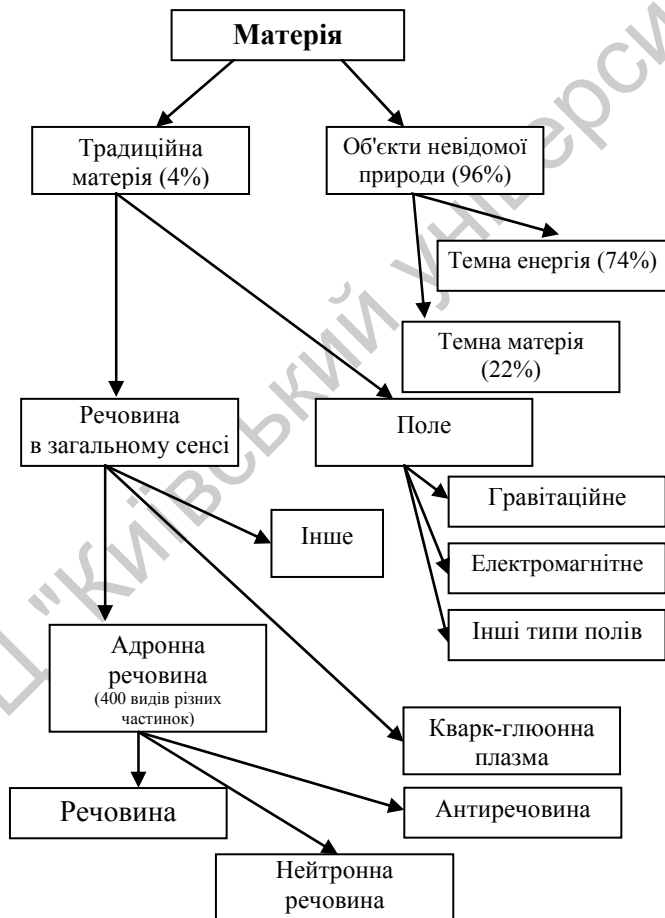
Розглянемо, що являє собою матерія у розумінні сучасної картини світу. Із чого складається наш світ, чим він є? За останніми науковими результатами всю матерію можна (досить умовно, тут і далі слід розуміти, що поділ матерії на різні типи завжди має умовний характер, оскільки всі вони насправді тісно між собою переплутані) поділити на матерію в традиційному розумінні та на певні об'єкти невідомої природи. Під останніми зазвичай розуміють дві космологічні субстанції – це так звані темна матерія і темна енергія, які разом становлять 96 % від усієї маси-енергії Всесвіту. Головна проблема щодо темної матерії та темної енергії полягає в тому, що ми майже нічого про них не знаємо: відомо, що вони мають бути, приблизно відомо, скільки їх має бути і де, але що це таке і з чого воно складається невідомо.

Матерію в традиційному розумінні, якої, відповідно, лише 4 %, можна поділити на речовину та поле. Головна відмінність між ними полягає в тому, що речовина – це вид матерії, що характеризується масою спокою, у той час як поле маси не має. Поле, у свою чергу, поділяють за типом взаємодії, яку воно переносить. Воно може бути гравітаційним (відповідає за тяжіння) чи електромагнітним (відповідає за всі явища, пов'язані із зарядами та їх рухом). Окрім того, на малих відстанях, порівнянних із розміром атома, діють слабкі та сильні поля.

Речовина також поділяється на декілька підтипів. Насамперед це адронна речовина – тип речовини, який складається із адронів (від давньогрец. *ἀδρός* – великий, масивний) – це клас частинок, які, на відміну від лептонів, беруть участь у сильній взаємодії, прикладами є протони й нейтрони. Окрім неї існує кварк-глюонна плазма, що заповнювала Всесвіт на початку його існування, про яку буде сказано трохи далі. Бувають ще й інші типи речовини, які не можна вважати приналежними до перших двох категорій.

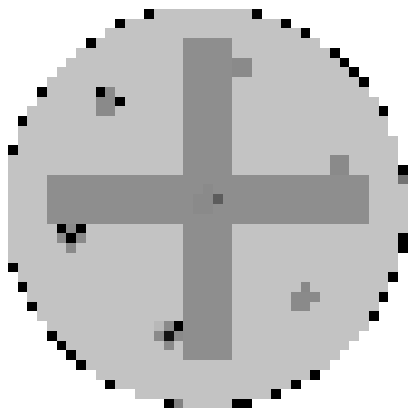
Адронна речовина складається із багатьох різних типів частинок. На сьогодні їх відомо вже декілька сотень, і їх, у свою чергу, можна розділити на три категорії: *звичайна речовина*, тобто та

сама речовина, з якої складаємося ми всі, з якої складаються всі предмети, що наш оточують, включаючи Землю та Сонце; *анти-речовина*, яка майже не відрізняється від звичайної, але при взаємодії між ними відбувається анігіляція, її у Всесвіті дуже мало, і на Землі вона може бути створена лише в лабораторіях у дуже малих кількостях; *нейтронна речовина* – тип речовини, що не містить атомів, а складається лише з нейтронів. Прикладом такої нейтронної речовини є деякі зірки. Отже, наведемо приблизну структуру матерії, як вона відома людству сьогодні.



Зауважимо, що цей розподіл досить умовний, оскільки при детальному розгляді, можна побачити, що "причина" появи додаткової маси у більшості частинок полягає саме в полях, що взаємодіють із частинками, проте ми не будемо заглиблюватися у це складне питання.

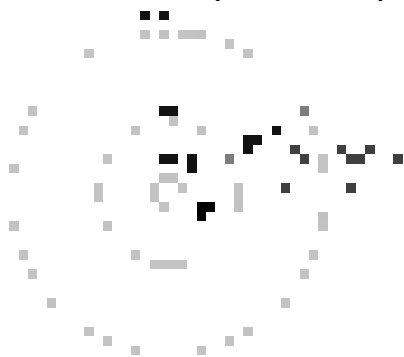
Звичайна речовина – це та речовина, що складається із молекул та атомів. *Атом* (від грец. *άτομος* – неподільний) є найменшою частинкою певного хімічного елемента, вона зберігає всі його хімічні властивості. Відповідь на запитання, що таке атом і як він влаштований, відрізнялася в різні часи. Наприклад, в епоху античності в межах наукової програми атомізму Левкіпп та його учень Демокріт вважали, що атоми – це найменші неподільні шматочки речовини. Властивості речовини визначаються формою, масою та іншими характеристиками атомів, що її утворюють. Вони вважали, що вогонь має гострі атоми, тому він здатний обпалювати; у твердих тілах атоми шорсткуваті, тому вони зчіплюються один з одним; у воді – гладкі, тому вона здатна текти. Також вважалося, що не тільки матеріальні, але й нематеріальні субстанції утворені із атомів, так само із них складається і душа людини.



Модель атома
Томпсона

Однак із розвитком науки наприкінці XIX – на поч. XX ст. були відкриті субатомні частинки і складена будова атома. Виявилося, що атом насправді не є неподільним. І якщо перша ідея про атоми належить ще давнім грекам, то першу наукову модель атома створив *Джозеф Джон Томпсон* у 1894 р. Це була так звана *модель "пудинг з родзинками"* – атом уявлявся як деяке позитивно заряджене тіло з негативними зарядами всередині нього. Умовно його можна зобразити приблизно таким чином як на рисунку.

Великий "пудинг" – це сам атом, заряджений позитивно, а маленькі родзинки в середині – негативно заряджені електрони, які за певних умов можуть залишити атом. Проте ця модель атома виявилася неправильною. Експериментальні дослідження спростували таку будову атома, і тому виникла досконаліша модель – *планетарна модель атома Бора–Резерфорда*, яку запропонували *Нільс Бор* та *Ернест Резерфорд*¹ у 1913 р. Згідно з цією моделлю атом є подобою планетної системи, у якій електрони рухаються по орбітах навколо розташованого в центрі важкого позитивно зарядженого ядра (*модель атома Резерфорда*).



**Модель атома
Бора–Резерфорда**

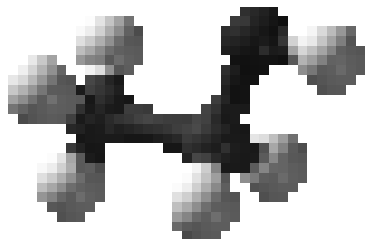
Електрони при русі по своїх орбітах нічого не випромінюють, а випромінюють квант світла лише переходячи з однієї орбіти на іншу (доповнення Бора до моделі Резерфорда). Однак такі уявлення будови атома суперечать положенням класичної електродинаміки. Якщо електрони заряджені і рухаються, то вони мають випромінювати, втрачати енергію і падати на ядро, але цього не відбувається.

і пояснення цьому неможливо знайти в межах класичної фізики. Лише з появою квантової механіки та уявлень про корпускулярно-хвильовий дуалізм стало зрозуміло, чому все відбувається саме так.

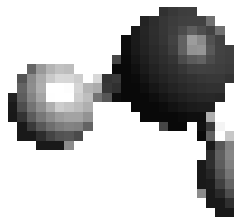
Отже, речовина – це вид матерії, що характеризується масою (масою спокою) і складається з елементарних частинок, які об'єднані в атоми, які, у свою чергу, утворюють молекули. *Молекула* – це здатна до самостійного існування частинка речовини, що має основні хімічні властивості речовини, які визначаються її складом та будовою. Молекула складається із атомів, між якими існують хімічні зв'язки. Молекули за розміром бувають абсолю-

¹ *Ернест Резерфорд* (англ. *Ernest Rutherford*, 1871–1937).

тно різні. Бувають одноатомні молекули, наприклад, усі молекули благородних газів (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn). Для них різниці між поняттям "атом" та "молекула" взагалі не існує.



Модель молекули етанолу



Модель молекули води

Інші атоми через свої властивості не можуть існувати окремо, і тому за першої можливості об'єднуються: два атоми кисню утворюють молекулу кисню O_2 , три атоми кисню можуть утворити молекулу озону O_3 , один атом кисню та два атоми водню можуть утворити молекулу води H_2O тощо. Окрім таких невеликих молекул існують молекули (зазвичай різних органічних сполук), що складаються із десятків, сотень, тисяч і сотень тисяч атомів. Молекула ДНК, що зберігає і передає всю генетичну інформацію про будь-яку живу істоту, може містити понад 10 млрд атомів.

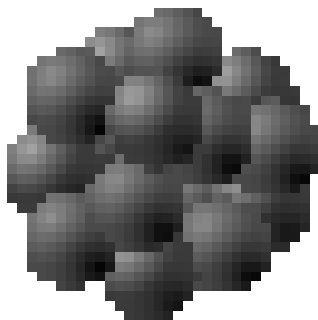
Склад молекули передається хімічними формулами (H_2O , C_2H_5OH). Поняття молекули є основним для хімії. Саме хімія визначає будову молекул на основі хімічних реакцій, і навпаки, на основі будови молекули визначає, яким буде хід реакцій. Будову і властивості молекули вивчає молекулярна фізика. Розвиток біології, хімії та молекулярної фізики привів до виникнення молекулярної біології, яка досліджує основні явища життя, виходячи з будови та властивостей біологічно функціональних молекул.

Як було вже зазначено, молекули складаються із атомів, і атом є найменшою, хімічно неподільною частиною хімічного елемента, що є носієм всіх його властивостей. У свою чергу атом складається із важкого, але дуже маленького, розташованого в центрі, ядра та електронів, які рухаються навколо нього. Ядро атома складається із нуклонів, до яких належать позитивно заряджені протони і незаряджені нейтрони. Певний час після

того, як було відкрито складену будову атома, вважалося, що саме протони і нейтрони є останньою ланкою неподільності, що вони справжні елементарні і неподільні частинки. Однак згодом було з'ясовано, що це не так. На відміну від них, електрони – це справжні елементарні неподільні частинки.

Атоми класифікують за кількістю протонів і нейтронів у ядрі: кількість протонів визначає належність атома деякому хімічному елементу, а кількість нейтронів – ізотопу цього елемента. Положення атома в таблиці Менделєєва визначається електричним зарядом його ядра (тобто кількістю протонів), у той час як кількість нейтронів принципово не впливає на хімічні властивості; при цьому нейтронів у ядрі зазвичай більше, ніж протонів. Саме кількість протонів визначає, чи це буде атом кисню, чи вуглецю, всі хімічні властивості атомів одного елемента майже однакові. З точки зору хімії різниці між різними ізотопами немає, оскільки кількість нейтронів у ядрі майже не впливає на перебіг хімічних реакцій, і саме тому розділення ізотопів одного хімічного елемента (напр., урану, що дуже важливо для ядерної енергетики) є складною проблемою.

Атоми різного типу в різних кількостях, пов'язані міжатомними зв'язками, утворюють молекули. Хімічні властивості атомів визначаються конфігурацією електронної оболонки й описуються квантовою механікою. *Електрон* є найлегшою зі складових атома: його маса $9,11 \cdot 10^{-31}$ кг., він має негативний заряд, а його розмір занадто малий для вимірювання сучасними методами. В усіх фізичних експериментах електрон вважається точковим. *Протони* мають позитивний заряд, вони в 1836 разів важче, ніж електрон ($1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг). *Нейтрони* не мають заряду, вони в 1839 разів важче за електрон ($1,6929 \cdot 10^{-27}$ кг). Видно, що маси протона і нейтрона приблизно однакові (відрізняються на дві з половини маси електрона). Нейтрони й протони мають порівнянний розмір, близько $2,5 \cdot 10^{-15}$ м, проте можна сказати, що розміри цих частинок також визначені погано і це лише орієнтовна величина.

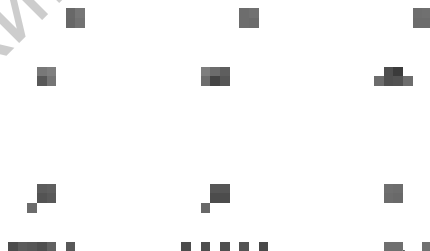


**Модель атомного ядра,
що складається із протонів
та нейтронів**

Якщо атом перебуває в нейтральному стані, то кількість електронів у ньому дорівнює кількості протонів. Основна маса атома зосереджена в ядрі, а масова частка електронів у загальній масі атома незначна (кілька сотих відсотка маси ядра). Якщо від атома відірвати електрон, він стане позитивно зарядженим, тоді він називається додатним іоном. Якщо відповідно певним чином атому надати додатковий електрон, то його заряд вже буде негативний, тоді це буде

від'ємний іон. Слід зауважити, що від додавання або віднімання електронів чи нейтронів атом одного хімічного елемента не перетвориться на атом іншого, оскільки в них залишатиметься однакова кількість протонів.

Лише атоми з тою самою кількістю протонів у ядрах належать одному хімічному елементу. Змінюючи кількість протонів, ми тим самим можемо зробити те, про що завжди мріяли алхіміки – створити філософське каміння і перетворювати одну речовину на іншу, наприклад, свинець на золото. Утім, слід зауважити, що створене таким чином золото буде набагато дорожче, ніж те, яке можна видобути.



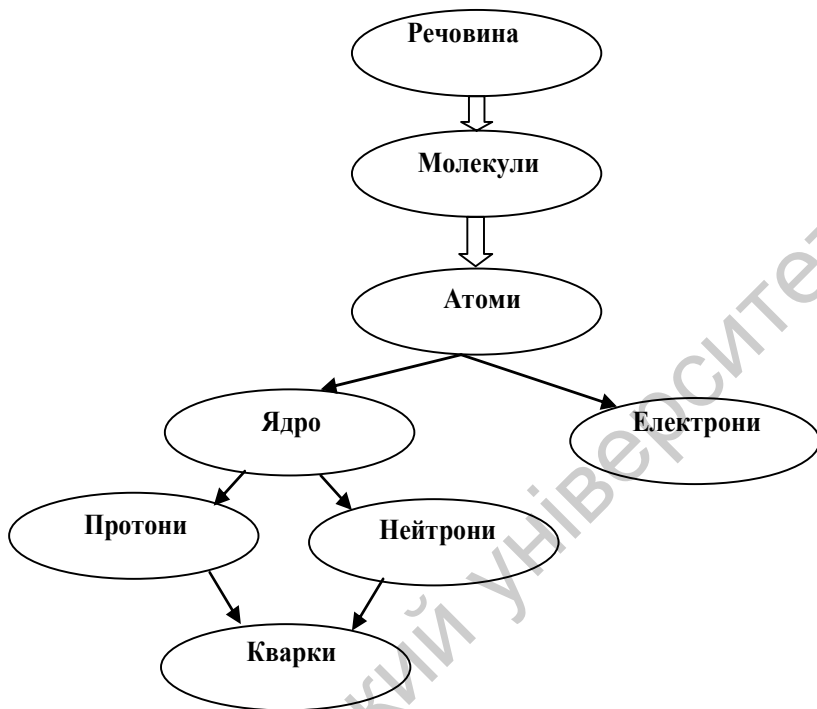
**Три головні ізотопи водню:
протій (звичайний водень),
дейтерій і тритій**

Атоми з тою самою кількістю протонів, але різною кількістю нейтронів, називають *ізотопами* даного елемента. Як приклад можна навести атом водню. Це перший елемент у таблиці Менделєєва, він завжди містить лише один протон. Водночас він має декілька ізотопів – без нейтронів взагалі (протій, або звичайний водень), з одним нейтроном (дейтерій), з двома нейтронами (третій). Хімічно ці ізотопи розділити неможливо, це робиться лише певними фізичними методами. Ізотопи мають велике прикладне значення. Наприклад, так звана важка вода, де замість звичайного водню міститься дейтерій, активно використовується на атомних станціях, але при вживанні будь-якою живою істотою вона може завдати великої шкоди організму.



Три кварки,
що утворили протон

У сучасній теорії елементарних частинок, яка називається *стандартна модель*, як протони, так і нейтрони складаються з елементарних частинок, названих *кварками*. Ці кварки бувають шести різних типів або ароматів (нижній, верхній, дивний, чарівний, красивий і правдивий) та трьох різних кольорів (червоний, зелений, синій), окрім того, для кожного кварка існує відповідний антикварк, а отже, всього їх 36. Кварки не можуть існувати самі по собі, і тому завжди об'єднуються в безколіорові структури. Прикладами таких структур є протони, що складаються з двох *u*-кварків (верхніх, *up*) та одного *d*-кварка (нижнього, *down*), і нейтрон – з одного *u*-кварка й двох *d*-кварків. Звичайно, усі ці назви абсолютно умовні. Нижній кварк не розташований внизу, правдивий не каже правди, а червоний не має червоного кольору. Коли кварки були винайдені, то для опису їх властивостей у людській мові не було відповідних слів. Можна було, звичайно, назвати "кварк типу три, властивість два", але для зручності опису їм дали зрозуміліші людині назви. Кварки між собою з'єднуються іншими типом частинок, *глюонами*, і природа влаштована так, що розділити їх та вивчати окремо неможливо.



Отже, матерія і речовина мають дуже складну структуру. У кожного, хто цим цікавиться, виникає слушне запитання: а звідки це все взялося? Звідки взялася така велика різноманітність різних частинок, звідки взялися протони, нейтрони, електрони? Звідки взялися атоми та молекули, і чому вони саме такі, чому зірки складаються з одних атомів, а планети з інших, чому одних атомів у Всесвіті дуже багато, а інших дуже мало? Відповіді на ці запитання дає теорія, яка описує зародження та розвиток нашого Всесвіту і називається *теорія Великого вибуху*.

Тема для самостійного опрацювання

Історія дослідження будови атома: Дальтон, Томпсон, Резерфорд, Бор, де Бройль.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке матерія і речовина?
2. Які типи матерії бувають?
3. На які типи поділяється речовина та які їх головні особливості?
4. Що таке молекула та атом?
5. Що таке елементарні частинки і які елементарні частинки вам відомі?
6. Який заряд має протон (нейтрон, електрон)?
7. Що визначає приналежність атома до певного хімічного елемента?
8. Що таке ізотопи певного хімічного елемента? Чому їх важко розділити?
9. Що таке кварки і які вони бувають?
10. Зобразити схематично приблизну структурну будову речовини.

Лекція шоста

ТЕОРІЯ ВЕЛИКОГО ВИБУХУ

Теорія Великого вибуху (англ. *Big Bang Theory*) – фізико-космологічна теорія, згідно з якою Всесвіт виник із надзвичайно щільного та гарячого стану приблизно 13,7 млрд років тому. Це сукупність уявлень про те, як саме зароджувався Всесвіт і коли це відбувалося. Вона добре пояснює сучасну структуру світу в усіх масштабах, від найменшого (чому найпоширенішими елементами у Всесвіті є водень і гелій?) до найбільшого (звідки виникла абсолютна однорідність розподілу галактик і галактичних кластерів у всьому спостережуваному космосі?). Ідея про Великий вибух була розроблена у середині XX ст. і до сьогодні є єдиною загальноприйнятою науковою теорією появи Всесвіту.

Головні експериментальні факти, які привели людей до думки про Великий вибух – це закон Хаббла та модель Всесвіту *Олександра Фрідмана*¹. Саме Фрідман у 1922 р., аналізуючи рівняння теорії відносності, показав, що Всесвіт не може бути стаціонарним і незмінним, як вважав Ейнштейн. Він показав, що Всесвіт неодмінно має розширюватися або звужуватися, причому йдеться про зміну самого простору, тобто про зміну всіх відстаней у Всесвіті. Строго проаналізувавши рівняння Ейнштейна, Фрідман показав, що з них випливали три можливі наслідки: або Всесвіт і простір розширюються із часом; або Всесвіт стискається; або у Всесвіті чергуються через великі проміжки часу цикли стиснення та розширення. І хоча спочатку Ейнштейн не хотів визнавати результати Фрідмана, проте згодом прийняв їх, а своє твердження про стаціонарність світу назвав своєю "найбільшою помилкою".

Однак треба було отримати докази на користь одного з трьох можливих сценаріїв. І саме докази на користь моделі Всесвіту, що розширюється, були знайдені в 1926 р. Їх отримав американський астроном *Едвін Хаббл*² при дослідженні спектрів далеких

¹ Олександр Олександрович Фрідман (1888–1925).

² Едвін Павелл Хаббл (англ. *Edwin Powell Hubble*, 1889–1953).

галактик. Він спостерігав червоний зсув спектральних ліній, що був розтлумачений як наслідок ефекту Допплера. *Ефект Допплера* – фізичний ефект, який полягає в тому, що довжина певного випромінювання змінюється залежно від того, чи рухається об'єкт до нас, чи від нас. Його легко спостерігати для звукових хвиль: звук потяга, що наближається до нас, відрізняється від звуку потяга, що віддаляється, він стає або нижчим, або вищим за тоном. Те ж саме справедливо і для світла. Нехай певний об'єкт, наприклад якась зоря, випромінює жовте світло. Якщо вона буде наближатися до нас, колір цього світла зміниться – він стане більш синім. Якщо ж вона віддаляється, то колір зміститься у червоний бік. Отже, зміна кольору є мірою руху, якщо ми знаємо, який має бути вигляд певного об'єкта, але бачимо, що його колір змінився, то це означає, що він рухається відносно нас з певною швидкістю.

Коли Хаббл спостерігав далекі галактики, він помітив, що всі вони значно червоніше, ніж ті, що розташовані ближче. Отже, усі галактики віддаляються одна від одної, розлітаються в різні боки, і закон Хаббла (або закон загального розбігання галактик) – емпіричний закон, що пов'язує червоний зсув галактик і відстань до них. Хаббл визначив швидкість, з якою розлітаються галактики. Він отримав коефіцієнт, який називають сталою Хаббла, який становить 500 км/с на мегапарсек (сучасне значення: $74,2 \pm 3,6$ км/с на мегапарсек).

Отже, висновок Фрідмана про нестационарність Всесвіту одержав підтвердження, а в космології утвердилася модель Всесвіту, що розширюється. Спостережуване нами розбігання галактик є наслідком розширення всього простору в замкненому кінцевому Всесвіті. При такому розширенні простору всі відстані у Всесвіті збільшуються подібно тому, як зростають відстані між порошинами на поверхні повітряної кульки, що роздувається. Кожну із таких порошин, як і кожна із галактик, можна з впевненістю вважати центром розширення, усі галактики віддаляються одна від одної, і чим далі вони розташовані, тим швидше це відбувається.

Закон Хаббла з погляду класичної механіки можна трактувати так: якщо в певний момент часу все розлітається, то колись

давно Всесвіт був дуже маленький, мав точковий розмір, а утворився в результаті певного процесу, який і дістав назву Великого вибуху. У момент вибуху різні частинки матерії отримали різні швидкості. Ті з них, які одержали більші швидкості, відповідно, встигли на цей момент полетіти далі, ніж ті, які одержали менші швидкості.



Великий вибух – космологічна модель, що описує ранній розвиток Всесвіту, а саме, початок розширення Всесвіту, перед яким той перебував у сингулярному стані. Космологічна сингулярність – стан Всесвіту в початковий момент Великого вибуху, що характеризується нескінченною щільністю і температурою речовини.

ни, коли вся матерія була зосереджена в одній точці і нагріта до надзвичайно високої температури. Виникнення цієї сингулярності в 1967 р. строго довів видатний фізик сучасності *Стівен Хокінг*¹. Розглядаючи цю сингулярність, він казав: "результати наших спостережень підтверджують припущення про те, що Всесвіт виник у певний момент часу. Однак сам момент початку, сингулярність, не підкоряється жодному із відомих законів фізики".

Важливо розуміти, що ніякі наші відомості про те, що відбулося після Великого вибуху, не можуть дати жодної інформації про те, що відбувалося до вибуху і чи взагалі щось існувало до нього. Усі сучасні закони фізики починають працювати лише після того, як Всесвіт утворився, і на даний момент часу ми не можемо зазирнути далі в минуле і побачити, що було до вибуху. Можливо, не було нічого, а можливо існував інший Всесвіт, який чомусь "стягнувся" у точку, яка після цього вибухнула.

Якщо відомо, з якою швидкістю зараз розлітаються галактики і відстань до них, то можна обчислити, коли вони почали ро-

¹ *Стівен Вільям Хокінг* (англ. *Stephen William Hawking*, 1942).

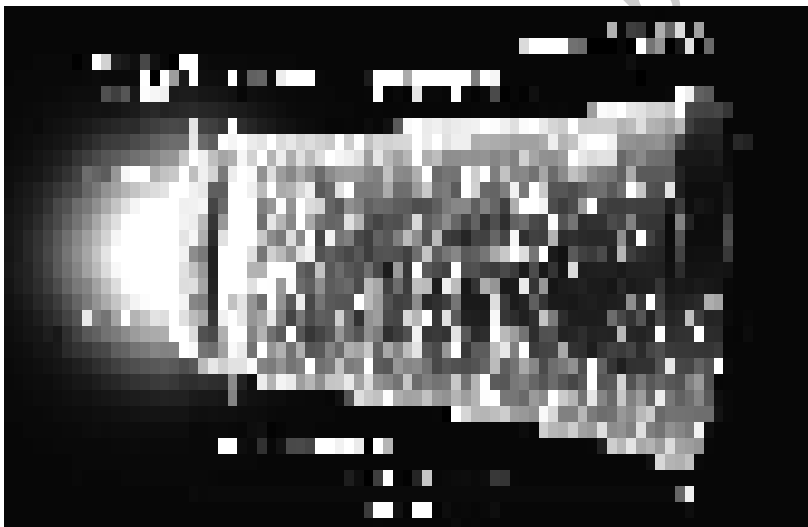
кожний мільярд частинок антиречовини припадав мільярд плюс одна частинка речовини, це флуктуація, мільярд частинок взаємно анігілювали, а та єдина додаткова залишилася, і саме тому наш Всесвіт складається з речовини. Якби випадковість тоді спрацювала в інший бік, то ми б усі склалися з антиречовини, а якби кількість того й іншого була однаковою, то ніякої речовини у Всесвіті взагалі не було б, а була б лише порожнеча, і поля, що її заповнюють.

Приблизно через 20 хв починається епоха нуклеосинтезу (*nucleus* – ядро, синтез – утворення), під час якої протони, з'єднуючись з нейтронами, утворювали ядра дейтерію, гелію, літію і ще декількох легких ізотопів. Отже, лише три найлегші елементи, які сьогодні існують у Всесвіті, утворилися одразу після Великого вибуху – водень (один протон у ядрі), гелій (два протони) і літій (три протони). Решта елементів утворилася значно пізніше в результаті різних ядерних реакцій усередині зірок та під час вибуху наднових, про що буде сказано далі.

Приблизно через 380 тис. років після Великого вибуху температура знизилася настільки, що стало можливим існування атомів водню, $T \sim 4000^\circ \text{C}$. Заряджені позитивно ядра водню, які до цього існували окремо, почали притягувати до себе негативно заряджені електрони, утворюючи нейтральні атоми. Період від 380 000 до 150 млн років дістав назву *темні віки*. Зірки, квазари й інші яскраві джерела ще не встигли утворитися. У цей час Всесвіт був заповнений воднем, гелієм та випромінюванням – тим самим випромінюванням, яке виникло під час анігіляції речовини та антиречовини; поки Всесвіт був дуже щільним, воно не могло нікуди піти, багаторазово відбиваючись і поступово охолоджуючись. Тільки в цей час, коли більше ніщо йому не заважало, воно змогло поширюватися на значні відстані. Відгомін того випромінювання можемо відчутися навіть сьогодні, коли дивимось на небо, воно дістало назву *реліктове випромінювання*. Ідею про існування такого випромінювання висунув видатний американський фізик українського походження *Георгій Гамов*¹ у 1947 р.

¹ *Георгій Гамов* (1904–1968).

Наявність реліктового випромінювання зі спектром, дуже близьким до спектра абсолютно чорного тіла, мабуть, є найголовнішим підтвердженням правильності теорії Великого вибуху. Воно рівномірно приходить з усюди і значно "охолонуло" за 13,7 млрд років з моменту Вибуху, відповідаючи випромінюванню тіла, охолодженого до -270°C . Таке випромінювання не має жодного джерела, воно пронизує весь Всесвіт в усі напрямки, і сучасні спостереження показують, що воно дійсно дуже однорідне – це відгомін перших секунд існування світу, що вже 13 млрд років мандрує крізь космос. Саме після його виявлення теорія Великого вибуху стала загальноприйнятою, і навіть ті, хто до цього сумнівались, визнали її правоту.



У період 150 млн – 1 млрд років при розширенні в загальному однорідному Всесвіті в тих чи інших місцях утворювалися випадкові згущення речовини. Але саме ці "випадковості" стали ядром більших ущільнень і центрами концентрації. Так у Всесвіті утворювалися ділянки, де речовина збиралася, і де її майже не було. Під впливом гравітації ущільнення зростали. У місцях таких згущень стали утворюватися галактики, скупчення і надскупчення галактик. Існує теорія, що важливу роль у цьому відіграла темна матерія, яка стала зародком, до якого притягалася

звичайна речовина, формуючи галактики та зірки. Після цього настала вже звична нам ера речовини, коли виникають, живуть і вибухають зірки, щоб з їх попелу утворилися нові. Наприклад, через 8,9 млрд років після Великого вибуху в одному непримітному місці однієї з галактик відбувалося утворення міжзоряної хмари, яка згодом дала початок Сонячній системі. У період від 8,9 млрд років до 9,1 млрд років пройшло формування Землі й інших планет Сонячної системи, але цей етап розвитку Всесвіту вже не стосується Великого вибуху.

Виникає цілком логічне запитання: якщо наш світ утворився 13,7 млрд років тому і продовжує розширюватися, то що буде з ним далі? Розрахунки Фрідмана допускали три варіанти розвитку і який із них оберне еволюція Всесвіту залежить від відношення гравітаційної енергії до кінетичної енергії речовини, що розлітається. Кінетична енергія намагається розштовхати всі галактики одна від одної, а гравітація навпаки, намагається стягнути все до однієї точки. Це відношення можна звести до відношення густини речовини у Всесвіті до критичної густини речовини.

Якщо речовини у Всесвіті дуже мало, а швидкості її розбігання великі, то гравітація ніколи не зможе зупинити розширення Всесвіту. Кінетична енергія розлітання речовини переважає над гравітаційною енергією, що перешкоджає розлітання, сили тяжіння не зупинять розбігання галактик і розширення Всесвіту мають незворотний характер. Це можна виразити умовою $p/p_k < 1$, де p – густина речовини у Всесвіті, p_k – критична густина речовини). Цей варіант динамічної моделі Всесвіту називають *відкритий Всесвіт*, тобто Всесвіт, що ніколи не зупиниться.

Якщо переважає гравітаційна взаємодія, чому відповідає умова $p/p_k > 1$, то темп розширення згодом сповільниться до повної зупинки, після чого почнеться стискання речовини аж до повернення Всесвіту у вихідний стан сингулярності, який за аналогією до Великого вибуху називають Великим схлопуванням. Такий варіант моделі названий *закритим Всесвітом*, тобто Всесвіт має межу, досягнувши якої він почне стискатися знову. У випадку, коли сили гравітації точно дорівнюють кінетичним силам, тобто, коли $p/p_k = 1$, розширення не припиниться, але його швидкість згодом буде спрямована до нуля.

Який із варіантів реалізується в нашому Всесвіті? Це остаточно невідомо. На підставі сучасних даних середня густина речовини у Всесвіті близька до критичного значення, вона може бути або трохи більше, або трохи менше. Проте більш імовірним все ж вважається саме перший варіант відкритого Всесвіту, але до його розширення, причому не просто розширення, а розширення з прискоренням, призводить ще одна субстанція – так звана темна енергія. Це щось невідоме, що заповнює весь простір і протидіє гравітації, намагаючись відштовхнути кожне тіло від усіх інших. Природа темної енергії нам ще невідома, і тому залишається лише висувати здогадки і сподіватися, що нові покоління дадуть відповідь на це запитання.

Тема для самостійного опрацювання

Історія дослідження теорії Великого вибуху.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке теорія Великого вибуху?
2. Які головні докази Великого вибуху?
3. У чому полягав висновок Фрідмана щодо будови Всесвіту?
4. Яке відкриття зробив Хаббл? Що таке ефект Допплера та червоний зсув?
5. Що таке космологічна сингулярність?
6. Що було до Великого вибуху?
7. Описати, що відбувалося у Всесвіті у перші секунди його існування.
8. Які хімічні елементи існували після Великого вибуху?
9. Коли утворилися перші зірки?
10. Що буде з нашим Всесвітом далі і від чого це залежить?

Лекція сьома

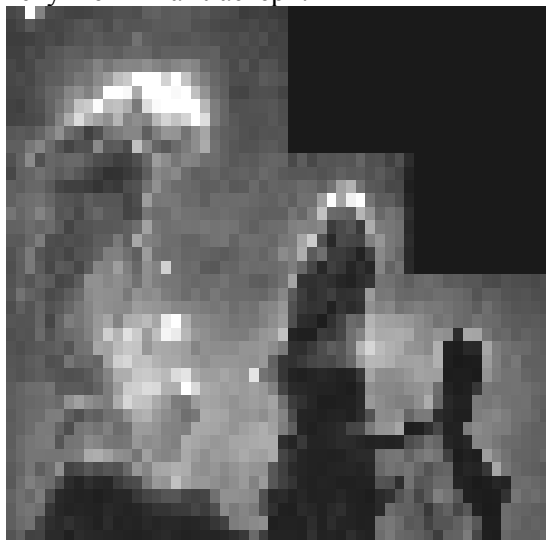
МЕГАСВІТ, ОСНОВНІ КОСМОГОНІЧНІ УЯВЛЕННЯ

Всесвіт, що існує навколо нас, утворився після Великого вибуху 13,7 млрд років тому, і з того часу еволюціонує і змінюється. Галузь науки, яка вивчає ці зміни, називається *космогонією* (грец. *κοσμογονία*, від грец. *κόσμος* – світ, Всесвіт і грец. *γενή* – народження). Космогонія вивчає походження і розвиток космічних тіл та їхніх систем: зірок і зоряних скупчень, галактик, туманностей, Сонячної системи тощо. При вивченні космогонією такого явища, як народження всього світу, досліджуючи процеси у мегасвіті в усіх їх різноманітності, найбільша увага приділяється еволюції окремих його частин.

Що ж таке мегасвіт і де він починається? Насправді, між мегасвітом і макросвітом немає строгої межі. Не можна сказати, що цей об'єкт ще належить до макросвіту, світу людини, а цей – вже до мегасвіту. Приблизно можна вважати, що опорною точкою початку мегасвіту може бути Земля (маса $6 \cdot 10^{24}$ кг, радіус 6371,0 км). З одного боку, це об'єкт, порівнянний з типовими для людини розмірами та масами, а з іншого, – це вже характерний космічний об'єкт, тобто частина мегасвіту.

Оскільки мегасвіт має справу з великими відстанями, то для їхнього вимірювання не зручно використовувати звичайні кілометри, через що були введені спеціальні одиниці. Для відстаней – це астрономічна одиниця, світловий рік і парсек; астрономічна одиниця (а. о.) – середня відстань від Землі до Сонця, що приблизно дорівнює 150 млн км (більш точно – 149 597 870 700 м). Зазвичай вона використовується, якщо ми описуємо щось у межах Сонячної системи. Світловий рік – це відстань, яку проходить світло протягом одного року: $9,46 \times 10^{15}$ м (або 63 241 а.о.). У світлових роках зазвичай вимірюють відстані між зірками та іншими об'єктами, що перебувають у межах однієї галактики. Парсек (паралакс-секунда) – відстань, на якій річний паралакс земної орбіти дорівнює одній секунді (1 с), тобто через те, що

Земля обертається навколо Сонця, положення зірок на небі змінюється протягом року. І кажуть, що якщо положення зірки змінюється на одну кутову секунду, то відстань до неї становить один парсек (1 пк). Ця відстань дорівнює відповідно $206265 \text{ а.о.} = 3,26 \text{ св. р.}$ Парсеки використовуються для опису Всесвіту на найбільших масштабах, коли йдеться про галактики, галактичні скупчення та кластери.



Стовпи творіння – величезні скупчення концентрованого пилу і газу, у яких відбувається процес формування нових зірок

Якщо розглянути будову Всесвіту і те, чим він заповнений, то виявиться, що найпоширенішим елементом у Всесвіті є водень, той самий, що утворився одразу після Великого вибуху. Другий за поширенням елемент – гелій (за кількістю атомів – 10 % від загальної кількості речовини, за масою – до 30 %, оскільки він приблизно в 4 рази важчий). Лише невелика частина водню і гелію утримується в зірках – основна їхня кількість розподілена в міжзоряному та міжгалактичному просторі. Якщо ж окрім цього враховувати ще й темну матерію та темну енергію, то розподіл буде такий – 74 % Всесвіту становить темна енергія, 22 % темна матерія, 3,6 % – водень і гелій у стані міжзоряного

газу, і лише 0,4 % від загального складу Всесвіту – зірки, а планети та інші космічні тіла – ще на декілька порядків менше.

Водень і гелій у міжзоряному просторі перебувають в основному в атомарному стані й є "вихідною сировиною" для утворення зірок. Хмари міжзоряного газу – це колиска, у якій зароджуються, ростуть та спалахують нові зорі. Відбувається це тому, що розподіл газу в міжзоряному просторі неоднорідний. Випадково, через певні неоднорідності початкових умов, в окремих ділянках спостерігаються флуктуації щільності атомів. Десять водню та гелію трохи більше, десять трохи менше. І якщо кількість речовини в даній ділянці перевершує певне критичне значення, то виникають сильні гравітаційні поля, які перешкоджають розлітанням газу-пилу хмари (або глобули) і прагнуть стиснути її до якомога менших розмірів. Гравітація починає стискати глобулу і, падаючи до центра, частинки речовини набувають кінетичної енергії. Падіння речовини до центра супроводжується досить частими зіткненнями частинок і переходом їхньої кінетичної енергії в теплову – вони розігріваються газу-пилу хмару.

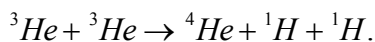
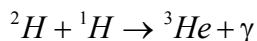
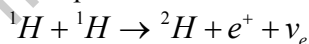


Глобола "Кінська голова",
де відбувається процес
зародження протозірок

Температура і щільність глобули весь час зростає. Глобула стає зародком майбутньої зірки – протозіркою, і починає світитися. Проте у цій стадії протозірку ледь видно: основна частина її випромінювання припадає на далеку інфрачервону область, людина без спеціальних приладів не може побачити такий космічний об'єкт. Проте через невеликий час протозірка у своїй еволюції переходить до наступного етапу, стаючи справжньою, яскравою зорею.

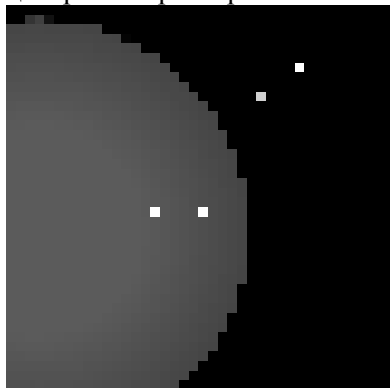
Подальше стискання призводить до ще більшого підвищення температури й тиску, і в певний момент часу стають можливими термоядерні реакції синтезу гелію з водню. Це відбувається тому, що окремим атомам водню дуже вигідно об'єднатися, перетворившись на гелій, ця реакція виділяє величезну кількість енергії. Але ядра водню – це звичайні протони, позитивно заряджені частинки, а отже, як відомо з теорії електромагнетизму, вони відштовхуються одне від одного. Для того, щоб реакція відбулася, їх слід наблизити один до одного майже впритул, а це можливо лише тоді, коли ці протони мають величезну енергію (тобто температуру) і їх дуже багато (тобто велика щільність і тиск). Отже, коли такі температура та тиск досягнуті, протозірка "розпалюється" і стає справжньою зіркою.

Як і будь-яке джерело енергії, зірки мають своє "паливо": це протон-протонна реакція (реакція синтезу гелію з водню, яка протікає за високих температур). Приблизну схему реакції в середині зірки можна зобразити так:



Два атоми водню об'єднуються й утворюють дейтерій та вільний електрон. Дейтерій взаємодіє ще з одним воднем і утворюється ізотоп гелію, а саме, гелій-3 (тобто гелій, що має два протони та один нейтрон у ядрі). Два гелій-3 взаємодіють між собою, утворюючи гелій-4 (тобто два протони і два нейтрони) і два ядра водню. При кожній із цих реакцій виділяється величезна кількість енергії. На цьому етапі цикл завершено. Типова зірка (подібна Сонцю) більшу частину свого життя спалює свій водень у тер-

моядерному циклі і світить доти, поки більша частина водню в її центрі не перетвориться на гелій.



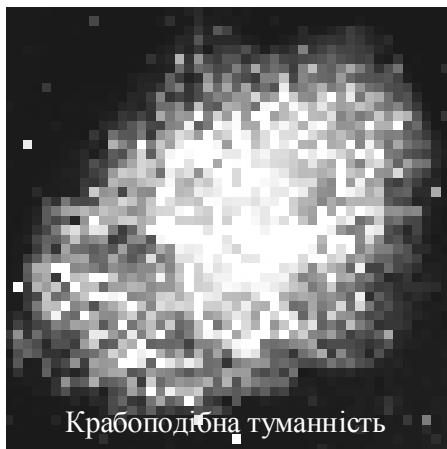
Якщо взяти як приклад наше Сонце, то воно горить вже 4,5 млрд років, саме тоді термоядерні реакції в ядрі почалися, і пройде ще приблизно 5 млрд років, доки водень не закінчиться. Більш масивні зірки еволюціонують набагато швидше: чим більша зірка, тим швидше вона згорає. Коли водень у центрі зірки вичерпаний, зірка вже не може протидіяти

силі гравітації, що намагається її стиснути, це приводить до збільшення температури і початку іншої термоядерної реакції – перетворенню гелію на вуглець. При цьому виділяється ще більша кількість енергії і світність зірки зростає. Виділена при цьому енергія приводить до збільшення радіаційного тиску, що намагається розштовхнути зірку зсередини, і як наслідок до розширення зовнішніх шарів зірки. У результаті розширення речовина зовнішніх шарів охолоджується, і випромінювання зірки стає більш червоним. Розширення триває доти, поки діаметр зірки не зросте в 200–300 разів. Зірка при цьому перетворюється на *червоного гіганта*. Наприклад, якщо ми розглянемо Сонце на цьому етапі його життя, то його розмір досягне орбіти Землі, при цьому під час свого розширення воно поглине внутрішні планети – Меркурій і Венеру. Червоні гіганти є найбільшими та найяскравішими зорями в Космосі, вони дуже активно спалюють речовину, і саме тому час їхнього життя не дуже великий. Сонце така доля очікує через 5 млрд років. Спочатку, усе сильніше й сильніше розігрівуючись, воно випарує всі океани та всю атмосферу на Землі, потім воно спалить саму Землю, а після цього, розширюючись, поглине те, що від неї залишиться.

Спрощена діаграма еволюції типової зірки (еволюційний трек) наведено на рисунку.



Проте етап червоного гіганта не останній у житті зірки. Після цієї стадії доля зірки значною мірою визначається її масою. Малі зірки, маса яких менша за масу Сонця, ощадливо витрачають запаси свого ядерного "палива" і можуть світити десятки мільярдів років. Зірки, подібні до нашого Сонця, маси яких не більше 1,4 від маси Сонця, поступово розширюються, після чого відкидають свої зовнішні шари в простір і залишають усередині лише невеличке ядро, яке поступово починає охолоджуватись. Такі ядра мають назву *білі карлики*, вони "визрівають" у центрі червоних гігантів. Поступово охолоджуючись, білий карлик може світити сотні мільярдів років, поступово втрачаючи свою яскравість, поки він, врешті, не перетвориться на *чорний карлик* – темне, холодне, щільне тіло, що нічого не випромінює. Вважається, що чорних карликів у Всесвіті ще не існує – за той час, що минув після Великого вибуху, жоден із білих карликів не встиг охолонути до настільки низьких температур, але саме таке невелике майбутнє чекає майже всі зірки, що існують зараз. Водночас, якщо маса зірки більша за 1,4 від маси Сонця, то відбувається катастрофічна, навіть за масштабами галактики, подія, – вона вибухає і перетворюється на *наднову зорю*. Наднова – це зоря, що раптово збільшує свою світність у мільярди разів, а іноді й більше. У максимумі спалаху наднова може випромінювати стільки світла, скільки за все своє життя разом. Це найяскравіші з відомих космічних об'єктів, їх світимість порівнянна зі світимістю цілої галактики, а іноді навіть перевищує її.



На щастя, спалахи наднових є досить рідкісним явищем. У нашому *Чумацькому Шляху* спалахи спостерігаються приблизно раз на 500 років, хоча очікуваний проміжок між спалахами – 50 ± 25 років (це означає, що більшу частину наднових ми не бачимо). Якщо б вибухнула одна із сусідніх до Сонячної системи зірок, то вона могла б знищити все життя

на поверхні Землі. Вважається, що деякі великі вимирання, що траплялися в історії земного життя, були спричинені саме надновими зірками. Проте, навіть якщо наднова зірка вибухає досить далеко, ця подія входить в історію. Наприклад, найяскравіша відома наднова називається SN 1006, її докладно описали китайські та ісламські астрономи, а її вибух відбувся більше тисячі років тому, 1 травня 1006 року. Інша наднова вибухнула у 1054 р. і тепер там на її місці ми можемо побачити *Крабоподібну туманність*. Вона є залишками наднової, вибух якої спостерігався згідно із записами арабських і китайських астрономів 4 липня 1054 року. Спалах було видно протягом 23-х днів неозброєним оком навіть удень, тобто за своєю яскравістю вона перевищувала всі об'єкти на небі, окрім Сонця. Ще дві наднові зірки спостерігалися через 500 років після цього – SN 1572 (або наднова *Тихо Браге*), – наднова зірка, що спалахнула в сузір'ї *Кассіопеї* в листопаді 1572 року, і *наднова Кеплера* у 1604 р.

Зауважимо, що наднові – головна хімічна "кузня" Всесвіту. Під час свого вибуху вони створюють у величезній кількості нові хімічні елементи, викидаючи їх у космос. Як було зазначено, після Великого вибуху у Всесвіті існувало лише три хімічних елементи – водень, гелій та літій. Інші такі легкі елементи, як азот, вуглець або кисень можуть утворюватися всередині зірок, коли ті проходять стадію червоного гіганта. Проте абсолют-

но всі важкі елементи, як залізо, золото чи уран можуть утворюватися лише під час вибуху наднових. Без наднових ніколи не змогли б утворитися Земля та життя на ній. Усе, що нас оточує, і навіть ми самі – це попіл від зірок, що колись вибухнули. Кожний атом нашого тіла колись був частиною зірки, що зародилася, світила і загинула, відправивши їх у мандрівку космосом, щоб потім, через мільйони або навіть мільярди років під дією гравітації ці атоми не зібралися знову, спочатку створивши Землю, потім життя і людину, кожного з нас. Ми всі "зародилися" у вибухах наднових минулих епох, і якби не вони, то нічого з оточуючої нас реальності також би не існувало.

Після вибуху наднової її оболонка скидається і, поширюючись у різні боки, утворює туманність, у центрі якої розташоване досить щільне ядро, невеличка зірка. Ця зірка складається не зі звичайної речовини, не з атомів чи молекул, а лише з нейтронів. Фактично, така зірка, маючи масу приблизно таку, як і Сонце, за розміром може бути лише декілька кілометрів у діаметрі і мати щільність майже таку, як і атомне ядро. Ця "нейтронізація" речовини відбувається за рахунок гравітаційного колапсу, тобто надпотужного стискування зірки, коли гравітація "вбиває" електрони в протони, породжуючи нейтрони. Нейтронні зірки зазвичай пульсують з малим періодом (близько 0,001 с), однак існують нейтронні зірки з періодом пульсації порядку 1,4 с, це *пульсари*. Типовим прикладом пульсара є нейтронна зірка в Крабовидній туманності.

Проте нейтронну зірку ще не вважають найщільнішим об'єктом у Всесвіті. За масою зірок від 2 до 10 мас Сонця можлива ситуація, коли після спалаху наднової тиск нейтронів уже не може зупинити гравітаційний колапс. Він продовжується все далі і далі, зірка падає всередину себе, і коли швидкість падіння в поле тяжіння такої зірки стає такою, що дорівнює швидкості світла, гравітаційний колапс неминучий. Зірка продовжує стискуватися нескінченно (теоретично – до точкового розміру). Гравітація такого об'єкта настільки потужна, що абсолютно ніщо не може його полишити, навіть світло. Таким чином, стискуючись зірка досягає критичного розміру, вона перестає випромінювати, зберігаючи здатність притягати ("засмоктувати") усе, що потра-

пляє в поле її тяжіння, саме тому її називають *чорна діра*. Чорні діри – останній етап еволюції дуже важких зірок, це певний "гравітаційний колодязь", що втягує в себе все, що його оточує, нічого не випускаючи назовні.



Художнє уявлення, який вигляд
може мати чорна діра

Уперше існування у Всесвіті об'єктів, що володіють таким полем тяжіння, при якому ніщо матеріальне не може вирватися з їхнього полону, передбачив у 1796 р. *П.-С. Лаплас*. Окрім того, висновок про існування чорних дір випливає із загальної теорії відносності. Але ж, як ми можемо дізнатися про існування чорних дір, якщо вони нічого не випромінюють? Чи можна виявити чорні діри, чи можна їх побачити? Відповідь на це запитання – так, можна, але непрямым шляхом. Припустимо, що колись існувала система із двох зірок, і одна з них вибухнула, перетворившись на чорну діру. Тоді вона буде засмоктувати речовину зірки-супутника, діючи як вампір. Ми будемо бачити, що речовина з однієї зірки перегітає кудись у порожнечу, де і зникає. Спостерігаючи таку картину, можемо припустити, що дійсно, десь там існує чорна діра, оскільки ніякий інший об'єкт у космосі не може робити так, щоб речовина просто зникала.

На сьогодні "підозрюваними" на чорні діри є об'єкти в сузір'ях Лебідь, Стрілець, Скорпіон та багатьох інших. Через ці особливості вчені не можуть сказати, що "ми знайшли чорну діру", можна лише стверджувати, що "ми знайшли щось, що має властивості, притаманні чорній дірі, і тільки". Загальна кількість чор-

них дір у нашій Галактиці може сягати сотні мільйонів. Окрім того, вважається, що у центрі галактики є так звана "надмасивна" чорна діра: якщо звичайні утворюються після вибуху зірок і мають масу в декілька десятків мас Сонця, то ця має масу в декілька мільйонів мас Сонця, і механізм її утворення остаточно достеменно невідомий.

Розглянувши подібні екзотичні об'єкти, повернемося до зірки, яка для людства має набагато більше значення, – Сонце та Сонячна система.

Тема для самостійного опрацювання

Класифікація зірок, діаграма Герцшпрунга–Рассела.

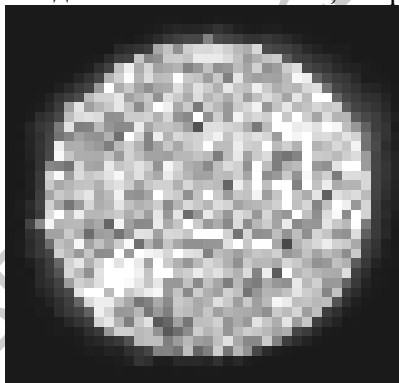
Запитання для самоконтролю

1. Які одиниці вимірювання використовують для опису мегасвіту?
2. Що є вихідною сировиною для утворення зірок?
3. Як відбувається процес зародження зірки?
4. Чим протозірка відрізняється від справжньої?
5. Чому зірки світять (що є джерелом їхньої енергії)?
6. Що буде із зіркою після того, як водень всередині її закінчиться?
7. Що таке наднова зірка? Чи всі зірки перетворюються на наднові?
8. Що залишається від зірки після вибуху надрової і від чого це залежить?
9. Що таке червоний гігант, білий карлик, нейтронна зірка, чорна діра?
10. Яку важливу роль відіграють наднові зірки у формуванні хімічного складу Всесвіту?
11. Чи можна "побачити" чорну діру, а якщо можна, то як?

Лекція восьма

СОНЯЧНА СИСТЕМА. ГАЛАКТИКА

Сонячна система – це планетарна система, що включає в себе Сонце й усі природні космічні об'єкти, що обертаються навколо нього. Формування Сонячної системи почалося приблизно 4,6 млрд років тому з невеликої частини гігантської міжзоряної газово-пилової хмари, що колись заповнювала весь оточуючий простір. Ця початкова хмара, або туманність, імовірно мала розмір у декілька світлових років і стала прабатьком для декількох зірок, а також планет, що їх оточують. Під дією гравітації газ у цій хмарі протягом 50 млн років стискався, поки його щільність і температура водню в центрі не стали достатньо великими для початку термоядерної реакції. Це можна вважати часом народження Сонця. Проте не вся речовина із хмари зібралася у центрі. Частина залишилася на периферії, і саме ця речовина сформувала довкола нього протопланетний диск, з якого надалі майже одночасно сформувалися планети, їх супутники, астероїди та інші малі тіла Сонячної системи. Саме тому вік всіх тіл нашої системи, від найбільших планет до найменших камінців, приблизно однаковий і становить 4,6 млрд років.



Сонце – центральне й наймасивніше тіло Сонячної системи. Його маса становить 99,866 % від сумарної маси всієї системи, тобто Сонце в 745 разів важче, ніж всі інші планети та об'єкти разом. Як і більшість зірок у Всесвіті, Сонце складається із водню (~73 % від маси, ~92 % від об'єму) і гелію (~ 25 % від маси, ~ 7 % від об'єму), поступово дуже

повільно спалюючи перший і перетворюючи його на другий. Відстань від Сонця до Землі становить приблизно 150 млн км, або 1 а. о. Розмір Сонця приблизно 1 млн км.

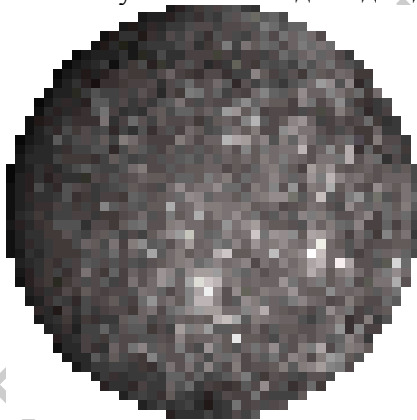
Сонце – абсолютно типова, нічим особливо не примітна зоря нашої галактики. У нього немає ніяких визначних особливостей, які б виділяли його серед інших зірок, воно має середній розмір, середню яскравість, типовий хімічний склад, світимість, колір та час життя. Яскравіші та більш гарячі зірки зустрічаються рідше, холодніші зірки зустрічаються частіше і становлять 85 % зірок у галактиці. Воно розташоване не на межі і не у центрі галактики, а десь посередині між ними. І єдине, що дійсно відрізняє Сонце від інших зірок – це те, що саме біля нього розташована наша планета Землі.

До Сонячної системи належить багато інших об'єктів. По-перше, це планети, які поділяють на планети земної групи (*Меркурій, Венера, Земля, Марс*) і планети-гіганти (*Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун*). Окрім того, до Сонячної системи належать супутники планет, комети, астероїди, малі планети, транснептунові об'єкти, а також усе інше, що обертається навколо Сонця. Зазвичай до Сонячної системи не належать штучні об'єкти, тобто космічні кораблі, що були створені людиною, хоча це не має принципового значення.



Планети земної групи – це чотири планети, які ще називають внутрішніми планетами, на відміну від зовнішніх планет, планет-гігантів. За своїми властивостями вони схожі на Землю, зокрема, вони мають високу щільність і складаються переважно із кисню, кремнію, заліза, магнію, алюмінію та інших важких елементів. Оскільки вони розташовані ближче до Сонця, то легкі елементи (водень і гелій) були відкинуті на більш далекі орбіти сонячним випромінюванням. Саме тому, наприклад, той самий гелій, що становить близько третини всієї маси Всесвіту, на Землі майже відсутній і існує як невеличка домішка до природного газу. Незважаючи на певну схожість, планети земної групи мають великі відмінності. Розглянемо їх головні особливості.

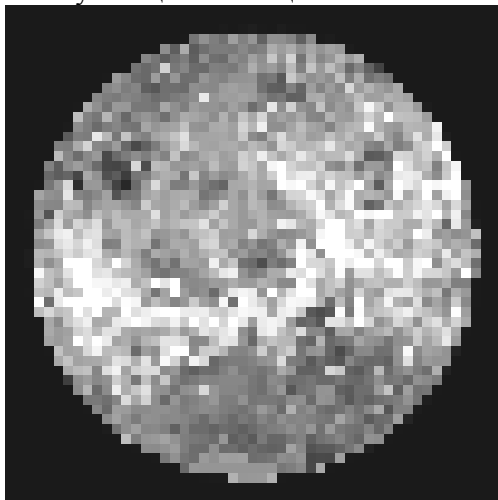
Меркурій – найближча до Сонця планета Сонячної системи і найменша планета з усіх. Раніше ще меншим вважався Плутон, який потім зі складу планет був виведений. Меркурій не має супутників, майже не має атмосфери, це дуже гаряча планета, що розташована втричі ближче до Сонця, ніж Земля. Його поверхня певним чином схожа на поверхню Місяця, оскільки також має величезну кількість слідів від падінь астероїдів.



Хоча Меркурій і розташований досить близько від Землі, проте це, мабуть, одна із найменш досліджених планет. Його важко спостерігати в телескопи, оскільки він розташований дуже близько до Сонця, на його орбіту важко потрапити космічним кораблям, якщо ж припустити ймовірність потрапляння туди, то працювати в умовах високої інтенсивності сонячної радіації буде практично неможливо. Саме тому Меркурій не розглядається як місце для потенційної колонізації людством.

Наступна планета – **Венера**. Це друга за відстанню від Сонця планета, має майже такі ж розміри і вагу, як і Земля (0,815 земної маси), тому іноді її навіть називають "двійником", або "сест-

рою" Землі. Середня відстань Венери від Сонця становить 108 млн км (0,723 а. о.). Венера – внутрішня планета, і на земному небосхилі не віддаляється від Сонця далі 48° . Оскільки (якщо спостерігати із Землі) вона розташована завжди з того ж боку, що і Сонце, то побачити Венеру можна лише вранці і ввечері, і тому в давні часи вважали, що це дві різні зірки (тоді люди ще не розуміли, чим зірки відрізняються від планет, планети вважались особливими зірками, які вмюють рухатися). Венера – третій за яскравістю об'єкт на небі; її блиск поступається лише блиску Сонця та Місяця.



Окрім того, хоча Венера і розташована значно далі від Сонця, ніж Меркурій, саме вона є найгарячішою планетою, температура на її поверхні перевищує 400°C . Найімовірнішою причиною настільки високої температури є парниковий ефект, що виникає через щільну атмосферу, що багата вуглекислим газом – щільність ат-

мосфери Венери в сто разів більша, ніж земної, і якщо на Землі є хмари й опади з води, то на Венері є суцільний шар хмар із сірчаної кислоти, які іноді випадають у вигляді дощів, але не долітають до поверхні, випаровуючись на своєму шляху. Причому атмосферу на Венері відкрили задовго до епохи космічних подорожей, це зробив *Михайло Ломоносов* 6 червня 1761 р. при проходженні Венери через диск сонця. Він помітив, що тінь Венери була не однорідною, а оточеною тоненьким шаром слабкої напівтіні. Ломоносов трактував це як існування щільної атмосферної оболонки. Такі проходження відбуваються двічі на кожні сто років. Останні проходження відбулися 8 червня 2004 року та 6 червня 2012 року, а наступні відбудуться в 2117 і 2125 роках.

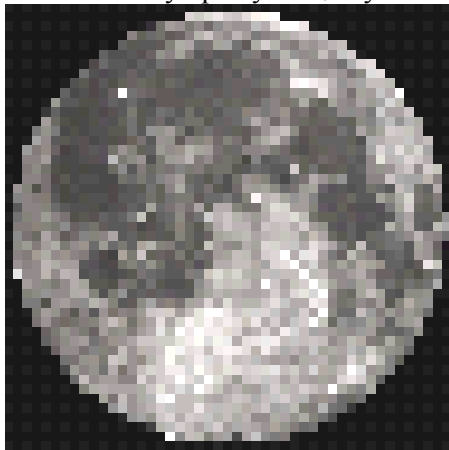
Венера досліджена досить добре. Хоча поверхню планети неможливо побачити через густі хмари, а висадитися там не можна через велику температуру та надзвичайно хімічно активну атмосферу, багато супутників досліджують Венеру з орбіти. Ця планета розглядається як потенційне місце для колонізації людиною, звичайно, якщо людство зрозуміє як її охолодити, що робити з її атмосферою і де взяти воду, якої на Венері взагалі немає. У майбутньому припускають можливість будівництва людської колонії, що буде як повітряна куля весь час літати на висоті приблизно 50 км над поверхнею, вище шару кислотних хмар, де і температура, і тиск набагато ближче до земних.



Наступна, третя планета від Сонця – **Земля**. Земля є найбільшою і найщільнішою із внутрішніх планет. Земля є унікальною насамперед своєю гідросферою (ну і, звичайно, тим, що тут є життя). Атмосфера Землі радикально відрізняється від атмосфер інших планет – вона містить вільний кисень. Вважається, що колись давно атмосфера Землі була безкиснева, і весь той ки-

сень, що ми зараз маємо, був вироблений під час життєдіяльності примітивних живих істот, які заселяли планету перші мільярди років її існування.

Земля має один природний супутник – це **Місяць**, єдиний великий супутник планет земної групи Сонячної системи. За сучасними уявленнями 4,36 млрд років тому на орбіті Землі були дві протопланети, і в певний момент велика (Гея) зіштовхнулася із малою (Тейя). Удар був не по центру, а під кутом (майже по дотичній), у результаті чого більша частина речовини об'єкта, що вдарився, і частина речовини земної мантії були викинуті на навколосемну орбіту. Із цих уламків зібрався протомісяць.

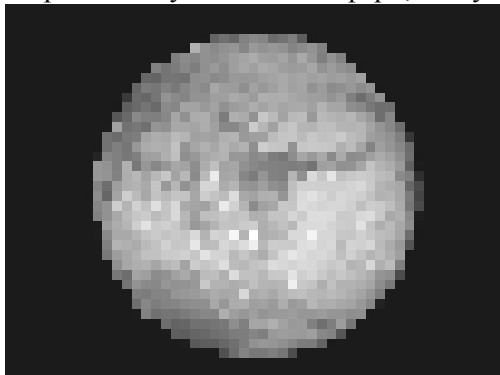


Місяць відіграє велику роль в історії земного життя, так вважається, що саме через викликані місяцем припливи та відливи життя змогло вийти з води на сушу. Відстань від Землі до Місяця поступово збільшується, він поступово віддаляється від нас. Місяць – єдине тіло, окрім Землі, на якому була людина. Наприкінці 60-х – на початку 70-х років XX ст.

за допомогою програми "Аполлон" там висадились декілька американських астронавтів. Першою людиною, що ступила на поверхню Місяця, був американський астронавт *Ніл Армстронг*.

Наступна планета за Землею – **Марс**. Марс дуже добре досліджений, на його орбіті та на самій поверхні планети вже довгий час працює ціле угруповання супутників та марсоходів, загальна кількість яких за весь час досліджень сягає вже декількох десятків. Він менший від Землі та Венери (становить лише 0,107 маси Землі), але більше Меркурія, тому сила тяжіння на поверхні Марса приблизно в три рази менше від земної. Він має атмосферу, що складається переважно із вуглекислого газу, але з поверхневим тиском лише 0,6 % від земного. На його поверхні є вулкани,

найбільший з яких – Олімп, перевищує за розмірами всі земні вулкани, досягаючи висоти 21,2 км від рівня поверхні. Марс – досить холодна планета, проте, незважаючи на це, вважається, що це найбільш перспективне місце, де можна буде організувати земну колонію. Головні проблеми, що заважають колонізації Марса – відсутність атмосфери, відсутність рідкої води, відсут-



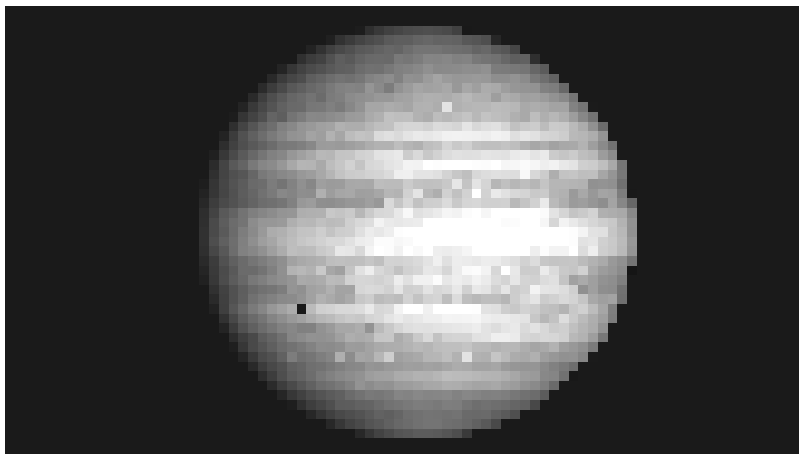
ність магнітного поля, що може захистити людей від космічного випромінювання. Проте наявні земні технології при мобілізації ресурсів всього людства вже зараз дозволяють організувати на Марсі тимчасове людське поселення.

У Марса є два супутники – *Фобос* і *Деймос*. Вважається, що вони є захопленими астероїдами, їхні розміри становлять лише декілька кілометрів, і досить скоро (за космічними мірками) вони впадуть на його поверхню.

За орбітою Марса розміщений пояс астероїдів – частина Сонячної системи, у якій обертається величезна кількість малих тіл. А за ним розташовані чотири планети-гіганти. Вони також називаються газовими гігантами, і разом містять 99 % маси речовини, що обертається на орбітах навколо Сонця (нагадаємо, що всі планети разом мають масу 0,134 % відсотка від маси Сонця, і лише один відсоток від цієї малої частини припадає на планети земної групи).

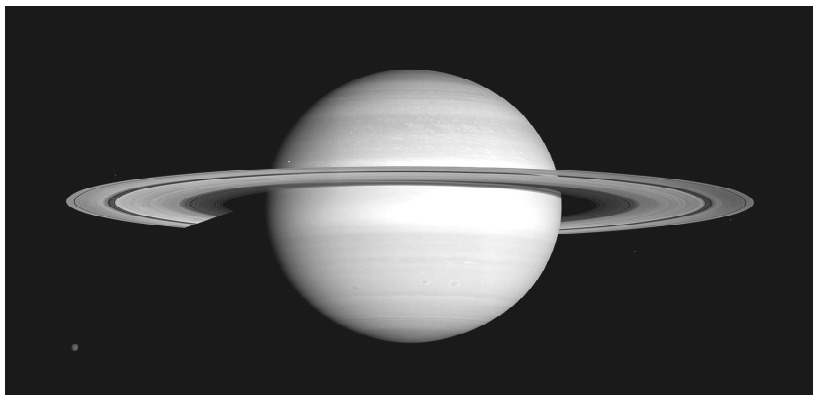
Газова планета за визначенням – це планета, що має значну частку газу у своєму складі. Перша з цих планет – *Юніпер*. Він має масу в 318 разів більшу, ніж маса Землі, що, у свою чергу, у 2,5 рази більше за всі інші планети разом. Він складається переважно із водню та гелію. Якби Юпітер був хоча б в декілька разів більше, то його енергії вистачило б для того, щоб запалити термоядерну реакцію, і тоді в Сонячній системі було б дві зірки,

оскільки саме наявність таких реакцій відрізняє зірки від великих планет.



У Юпітера 65 відомих супутників, чотири найбільші з яких – *Ганімед*, *Калісто*, *Іо* та *Європа*. Ці супутники іноді називаються галілеєвими, оскільки саме Галілео Галілей відкрив їх у XVII ст. Вони схожі на планети земної групи – щільні, мають тверду поверхню, складаються не з водню і гелію, а з важких елементів періодичної системи.

Наступна планета – **Сатурн**. Він дещо менший від Юпітера за розміром і масою. Насамперед, Сатурн відомий своєю системою кілець, які складаються з величезної кількості малих частинок льодяного пилу. У Сатурна є 62 підтверджених супутники, з яких великий тільки один – *Титан*, що перевершує за розмірами Меркурій. Цей супутник не менш цікавий, ніж сама планета, навколо якої він обертається, оскільки це єдиний супутник у Сонячній системі з істотною атмосферою. Окрім того, тиск атмосфери на Титані майже дорівнює земному, а на поверхні є рідини – течуть річки, є моря та озера. Єдине що слід зауважити, – ця рідина не вода, а рідкий метан, оскільки за таких температур, як на Титані (-170 – -180 °C), вода не може існувати в рідкому стані. Титан вважається перспективним місцем для заснування земної колонії у далеких ділянках Сонячної системи.



Сьома за відстанню від Сонця планета – **Уран**. Якщо перші шість планет відомі з часів античності (точніше, п'ять – Землю дуже довго планетою не вважали), то про Уран довгий час не було нічого відомо. Цю планету відкрив лише в 1781 р. англійський астроном Вільям Гершель. Уран став першою планетою, виявленою в Новий час за допомогою телескопа. На сьогодні відомо про існування 27-ми супутників Урана.

І остання, восьма планета – **Нептун**. Це найдаляня планета Сонячної системи, маса якої в 17,2 раза, а діаметр екватора в 3,9 раза більші за земні, за розмірами вони з Ураном розташовані десь посередині між гігантами Юпітером і Сатурном та Землею. Нептун виявлений 23 вересня 1846 р., і став першою планетою, яку відкрили завдяки математичним розрахункам, а не шляхом регулярних спостережень. Коли розраховували, де ця планета має бути, і потім подивилися в телескоп в це місце, то знайшли маленьку неяскраву крапку, яка і була Нептуном. При спостереженнях за орбітою Урана було виявлено, що він рухається не зовсім так, як передбачає небесна механіка, а отже, або закон всесвітнього тяжіння помилковий, або є щось невідоме, що впливає на його рух – якесь невідоме небесне тіло, невідома планета. Уран і Нептун іноді виокремлюють у так звану категорію "крижаних гігантів". Крижаний гігант – це клас планет, що складається в основному з льоду. Середня температура на планетах такого класу становить близько -220°C .

Раніше, до 2006 р. вважалося, що за Нептуном є ще одна планета, Плутон. Проте потім було змінено визначення, що таке планета, і Плутон вже під це визначення не потрапляв, а отже, планет залишилося лише вісім. На сьогодні Плутон вважається карликовою планетою. *Карликова планета* – це небесне тіло, яке, по-перше, обертається по орбіті навколо Сонця; по друге, має округлу форму; по-третє, не є супутником планети, і останнє, – не домінує на своїй орбіті. Саме останній пункт відрізняє планету від карликової планети: планета має бути на своїй орбіті одна, на орбіті ж Плутона, окрім нього, існує ще декілька схожих за розмірами тіл. Коли їх знайшли, то треба було або називати і їх планетами, або вивести їх в окрему категорію небесних тіл, астрономи пішли другим шляхом.

Сьогодні виявлено п'ять карликових планет, а саме: *Церера* (раніше – найбільший астероїд із поясу астероїдів), *Плутон* (раніше – дев'ята планета), *Гаумеа*, *Макемаке* та *Еріда*. Три останні розташовані ще далі від Сонця, ніж Плутон, і майже ніякої достеменної інформації про них ми не маємо. Окрім того, існують претенденти на звання карликової планети, це: *Кварвар*, *Іксіон*, *Седна*, *Орк*, *Варуна* (усе це – транснептунові об'єкти, тобто вони розташовані далі від Нептуна). Існує проблема щодо визначення їх форми. Якщо буде з'ясовано, що вони достатньо великі, щоб мати круглу форму, то вони вважатимуться карликовими планетами, якщо ж їхня форма неправильна, то їх так і вважатимуть великими астероїдами.

Окрім планет і малих планет, існують малі тіла Сонячної системи, тобто все інше. Це астероїди, комети, метеорні тіла, метеороїди, міжпланетний пил. На сьогодні відкрито вже майже мільйон малих тіл різних розмірів – від великих (найвідоміші астероїди: *Паллада*, *Юнона*, *Веста*, *Ерос*, *Амур*, *Гідальго*, *Ікар*) до таких, розмір яких становить лише декілька метрів. Більша частина з них не має ані власної назви, ані навіть власного номера. Людство намагається відстежувати траєкторії тих астероїдів і комет, які можуть становити потенційну небезпеку для Землі, проте більша частина малих нам невідомих.

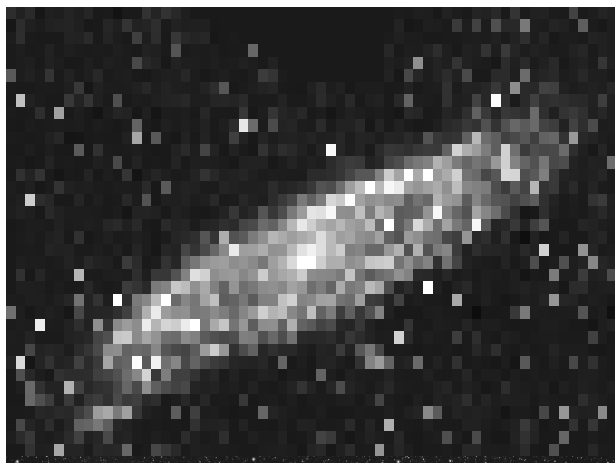
Дослідження Сонячної системи ведеться вже багато тисячоліть, проте найкращі результати ми почали отримувати з почат-

ком космічної ери, коли з'явилася можливість не просто спостерігати за космосом із Землі, але й полетіти туди, побачити це все наживо. Так величезний внесок у наші знання про планети зробили два американські космічні апарати: "Вояджер-1" (запущений 5 вересня 1977 р., проминув Юпітер у березні 1979 р., досяг Сатурна в листопаді 1980 р.) і "Вояджер-2" (запущений 20 серпня 1977 р., мав повільнішу траєкторію, пролетів повз Юпітер у липні 1979 р., повз Сатурн – у серпні 1981 р., облетів Уран у січні 1986 р. і Нептун – у серпні 1989 р.). Зараз вони вже вийшли за межі Сонячної системи і поступово летять у бік найближчих зірок, куди доберуться десь приблизно за сто тисяч років. На цих апаратах є два золоті диски, де записано вітання іншим цивілізаціям 55-ма мовами, у тому числі, українською: "Пересилаємо привіт із нашого світу, бажаємо щастя, здоров'я і многа літа". Друга частина цих послань містить "звуки Землі" – обраний 90-хвилинний запис досягнень світової музичної спадщини.

Поряд з "Вояджерами" можна також згадати космічні кораблі: "Галілео", "Кассіні", "Нові горизонти", які дослідили Юпітер, Сатурн і Плутон; марсоходи: "Спіріт", "Опортюніті" та "Кьюріосіті", які мандрували по поверхні Марса; космічний апарат "Розетта", який проводив дослідження комети *Чурюмова–Герасименко*, яку назвали на честь її першовідкривача – Кліма Чурюмова, професора, директора обсерваторії Київського Національного Університету імені Тараса Шевченка, і багато, багато інших. Проте, навіть серед всього цього різноманіття космічних апаратів, виділяється окремо один – *космічний телескоп Хаббл*, оскільки він призначений насамперед не для дослідження Сонячної системи, хоча і дозволяє їх робити, а для дослідження далекого космосу – інших зірок та інших галактик. Розглядаючи космос із Землі, ми дивимось через товстий шар земної атмосфери, що значно погіршує отримані зображення та спотворює їх. Водночас космічному телескопу ніщо не заважає, і саме із часу запуску Хаббла на початку 90-х років ХХ ст. людство змогло зробити найбільші відкриття в дослідженні галактики.

Що ж таке "галактика"? Поняття *галактика* у сучасній мові позначає величезну зоряну систему. Воно походить від грецького слова "молоко, молочний" і було введено в побут для позна-

чення нашої зоряної системи. Її видно як світлу смугу, що має молочний відтінок і тягнеться через усе небо (рос. *Млечный Путь*, укр. *Чумацький Шлях*, англ. *Milky Way*). Саме в Чумацькому Шляху зосереджене найбільша кількість зірок нашої Галактики, і коли йде написання з великої літери, Галактика, то маєтсья на увазі саме наша галактика, Чумацький Шлях.



Галактика Андромеди

Галактика дуже велика. Вона має форму спіралі, діаметр Галактики становить близько 30 000 пк (порядку 100 000 світлових років, 1 квінтильйон кілометрів) при середній товщині порядку 1000 світлових років (для порівняння, щоб долетіти від Сонця до Землі світлу потрібно 8 хв, щоб долетіти до найближчої зорі – 4 роки, щоб пролетіти всю Галактику – сто тисяч років). Галактика містить щонайменше порядку 200 млрд зірок (за сучасною оцінкою кількість коливається в діапазоні припущень від 200 до 400 млрд), так само, як Сонце – типова зірка, то Чумацький Шлях – хоч і велика, але досить типова галактика. Загальна кількість галактик у Всесвіті невідома, але за оцінками їх також сотні мільярдів. Основна маса зірок розташована у формі плоского диска.

Найчисленніші зірки в нашій Галактиці – карлики (масою приблизно в 10 разів менше маси Сонця). Окрім поодиноких

зірок і їх супутників (планет), є подвійні й кратні зірки та цілі зоряні скупчення, що рухаються як єдине ціле (напр., зоряне скупчення Плеяди). На сьогодні їх відкрито вже понад 1000. Кульові скупчення містять червоні і жовті зірки-гіганти та надгіганти. Раніше не було відомо, чи є планети певною унікальною особливістю саме Сонця, чи ні, проте вже відкрито, що майже всі зорі в галактиці мають свої планетарні системи.

Окрім того, у Галактиці існують туманності, що складаються в основному із газу та пилу. Міжзоряний простір заповнений полями (електромагнітним і гравітаційним) і розрідженим міжзоряним газом. Так само, як планети обертаються навколо зір, Галактика обертається навколо свого центра. Лінійна швидкість руху Сонця навколо центра Галактики дорівнює приблизно 250 км/с, що майже відповідає максимальній лінійній швидкості зірок. Повний оберт по своїй орбіті Сонце робить приблизно за 200 млн років. За аналогією цей період називають *галактичним роком*.

Галактика рухається по Всесвіту не сама. Разом зі своїми сусідами вона утворює місцеву групу галактик – гравітаційно зв'язану групу галактик, що включає галактику Чумацький Шлях, галактику Андромеди (М31), галактику Трикутника (М33) і декілька малих, карликових галактик. Найбільша із цих трьох галактик – галактика Андромеди. Вона дуже схожа на нашу і рухається в напрямку до Сонця зі швидкістю 300 км/с. За сучасними оцінками приблизно через 3-4 млрд років відбудеться зіткнення двох галактичних систем, коли вони зіллються в одну, а частина зір, включаючи Сонце (якщо воно до того часу ще не вибухне), буде викинута з Галактики і продовжить свою мандрівку по Всесвіту окремо.

Галактики зазвичай класифікують за своєю формою. Еліптичні галактики мають гладку еліптичну форму (від сильно сплюснених до майже круглих) без відмітних деталей з рівномірним зменшенням яскравості від центра до периферії. Спіральні галактики складаються зі сплюсненого диска із зірок і газу, у центрі якого перебуває сферичне ущільнення, яке називають балджем, а також великого сферичного гало. Неправильні або іррегулярні галактики – галактики, позбавлені як обертальної симетрії, так і

значного ядра. Галактика Чумацький Шлях належить до спіральних галактик.

Якщо ж вам колись доведеться заблукати в просторах космосу, і ви не будете знати, як повернутися додому, слід пам'ятати, де в Галактиці слід шукати Сонячну систему: Сонце розташоване у внутрішньому краї рукава Оріона, між рукавом Персея і рукавом Стрільця, у так званій "Місцевій міжзоряній хмарі" – ділянці підвищеної щільності зірок або зоряних тіл, яка розташована, у свою чергу, у "Місцевому міхурі" – зоні розсіяного високотемпературного міжзоряного газу.

Еволюція галактик схожа на еволюцію окремих зірок. Згідно з сучасними уявленнями, спочатку Галактика являла собою гігантську газову хмару. Під дією сил тяжіння вона стискалася. У ході цього стиснення народжувалися перші зірки і відбувався поступовий поділ зоряної та газової складових Галактики. Енергія, що виділяється при стисненні, гравітації переходила в кінетичну енергію руху зірок і газу. Кінетична енергія зірок досягла значення, при якому подальше стиснення стало неможливим. Таким чином, підсистема найстаріших зірок, що виникли на початку колапсу протогалактики, зберегла первісну сферичну форму, утворивши гало. Стиснення газу вздовж осі обертання тривало, і це привело до формування тонкого газового диска. Зірки, що згодом сформувалися в ньому, утворювали обертову дискову спіральну підсистему. У результаті тривалої гравітаційної конденсації в Галактиці відбувається безперервне утворення зірок із міжзоряного газу.

Зорі, що складають галактику, не народилися колись, вони народжуються увесь час, навіть зараз. Вони живуть, вибухають, щоб у тих туманностей, що утворилися після їх загибелі, утворювалися нові й нові зірки, доти, поки у них буде вистачати водню, щоб перепалювати його на гелій і світити, тобто ще багато і багато мільярдів років. Але не будемо заглядати так далеко, а подивимось ближче, на одну з планет однієї із зір нашої Галактики, а саме, – на Землю, і на унікальне явище, яке ні цій планеті існує й відрізняє її від усього іншого безмежного космосу – на життя.

Тема для самостійного опрацювання

Перспективи колонізації Сонячної системи.

Запитання для самоконтролю

1. Сонце: історія, склад, будова, параметри.
2. Із чого, окрім Сонця, складається Сонячна система?
3. Чим планети земної групи відрізняються від планет-гігантів?
4. Коротко описати головні особливості всіх планет Сонячної системи.
5. Чим планета відрізняється від малої планети?
6. Які малі тіла існують у Сонячній системі?
7. Як досліджується Сонячна система?
8. Що таке галактика і з чого вона складається?
9. У якій галактиці ми живемо, які розміри і форму вона має?
10. Де в Галактиці ми знаходимось?
11. Як утворювалися галактики та які вони бувають?

Лекція дев'ята

ЖИТТЯ ТА ГІПОТЕЗИ ЙОГО ПОХОДЖЕННЯ

Для того, щоб говорити про життя, треба спочатку зрозуміти – що таке є життя? Здавалося б, дуже просте запитання, проте однозначної відповіді на нього не існує. У різні часи вчені намагалися розглядати це питання за найрізноманітнішими критеріями, проте найбільш коректно було б, напевно, визначити життя за тими властивостями, якими воно має володіти, тобто життя – це те, що має властивості живого. Таких властивостей досить багато.

Отже, *по-перше*, живі організми характеризуються комплексною складною впорядкованою структурою. Рівень їхньої організації значно вищий, ніж у неживих системах. Будова навіть найпростішого одноклітинного організму значно складніша, ніж у найскладнішого мінералу. Вона ніколи не є випадковою. Кожний елемент структури живого організму має певне значення, яке він отримав у процесі еволюції.

По-друге, живі організми одержують енергію з навколишнього середовища, використовуючи її на підтримку своєї високої впорядкованості через їжу, дихання, сонячне світло або зовсім іншим шляхом. Втрачаючи можливість отримувати енергію, життя вже не здатне підтримувати свою структуру, і руйнується, що відрізняє живу істоту від, наприклад, каміння, яке може бути незмінним мільярди і мільярди років, не потребуючи жодного зовнішнього джерела енергії. Більша частина організмів прямо або опосередковано використовує сонячну енергію, хоча існують і такі, що використовують інші типи енергії, наприклад, енергію підводних гарячих джерел.

По-третє, живі організми активно реагують на навколишнє середовище. Здатність реагувати на зовнішнє подразнення – універсальна властивість всіх живих істот. Коли істота перестає реагувати на зовнішні подразнення, вона перестає бути живою, навіть, якщо її структура залишається складною і певні енерге-

тичні обміни ще продовжують відбуватися. Ця реакція може бути виражена більш яскраво або менш яскраво, але вона завжди наявна у кожного живого організму.

По-четверте, живі організми не тільки змінюються, але й ускладнюються, хоча саме ця властивість не дуже однозначна – за певних умов неживе також може формувати певні складні структури, але для неживого це радше виняток, для живого – правило.

По-п'яте, усе живе розмножується. Здатність до самовідтворення – одна із найголовніших ознак життя, у цьому проявляється механізм спадковості й мінливості, що визначають еволюцію. Хоча певний індивід може втратити можливість розмножуватися, для того, щоб вид залишався живим, необхідно, щоб він продукував нові покоління, передаючи їм свої гени. Якщо поглянути на історію життя на Землі, то загибель більшої частини видів живих організмів сталася не як фізичне винищення, а як втрачена можливість для розмноження – старі організми дожили свій вік, а нові на їх місце вже не приходили.

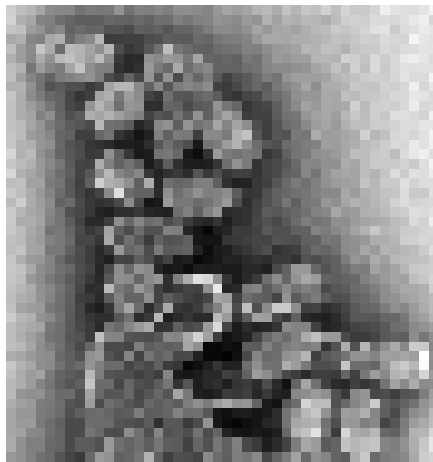
Отже, *по-шосте*, живі організми передають нащадкам закладену в них інформацію, необхідну для життя, розвитку й розмноження. Ця інформація міститься в генах – одиницях спадковості, дрібних внутрішньоклітинних структурах. Генетичний матеріал визначає напрям розвитку організму. Однак ця інформація в процесі передачі дещо змінюється, спотворюється як випадковим шляхом, так і через певні зовнішні чинники (напр., радіацію, що може призводити до видозміни генів). У зв'язку із цим нащадки не тільки схожі на батьків, але й відрізняються від них, і саме це визначає мінливість, один із механізмів, необхідних для еволюції життя. Мінливість у природі має випадковий характер, у той час як штучна мінливість може бути контрольована людиною, і щоб в цьому переконатися, достатньо поглянути, наприклад, на величезну різноманітність порід сучасних собак, від маленьких чіхуахуа до величезних алабаїв, при тому, що предками всіх цих порід собак є один и той самий вовк.

Доходимо висновку, що всі живі організми харчуються, дихають, ростуть, розмножуються й поширюються в природі, а неживі тіла не харчуються, не дихають, не ростуть і не розмно-

жуються. І, здавалося б, все просто, але і тут є нюанси. Зокрема, коли йдеться про людину, то все видається дуже просто: людина жива, оскільки вона дихає, їсть і розмножується. А, наприклад, каміння не живе, оскільки нічого із зазначеного не робить. Проте існують перехідні форми від неживого до живого, що мають лише частину властивостей живого, іноді поводячи себе як живі істоти, іноді як не живі.

Якщо подивитися сучасні серіали або кіно, якщо читати книжки, то можна часто зустріти опис таких вигаданих персонажів, як живі мерці, якими можуть бути зомбі або вампіри. Згадавши будь-який фільм про них, можна побачити, що зомбі, з одного боку, реагують на оточуюче середовище, з іншого, з маленької дитини-зомбі ніколи не виросте зомбі-дорослий. Зомбі складні, але вони не потребують енергії для свого існування, перебуваючи у стані анабіозу весь той час, поки не помітять жертву. У зомбі-тата і зомбі-мами не може народитися зомбі-дитина, проте вони можуть створити нового зомбі, якщо до їх рук потрапить жива людина... Звичайно, у природі ані зомбі, ані вампірів у тому вигляді, як про це розповідають книжки, не існує. Але, як не дивно, цей елемент сучасного фольклору дуже схожий на реально існуючий об'єкт. Такими перехідними формами від живого до неживого є *віруси*. Поза клітинами іншого організму вони не мають жодних атрибутів живого. Це молекула, зазвичай звичайна РНК. У вірусів є спадковий апарат, але відсутні основні необхідні для обміну речовин ферменти, і тому вони можуть рости й розмножуватися лише проникаючи в клітини іншого організму і використовуючи його ферментні системи. Тому залежно від того, яку ознаку живого вважати найважливішою, ми або вважатимемо віруси приналежними до живих систем, або не вважатимемо. Поза межами іншого живого організму вірус – це молекула, що ані обмінюється енергією із середовищем, ані розмножується, ані реагує на подразнення. У нього немає нічого, чим би це зробити, вірус – чиста інформація, "креслення", і для того, щоб за цим "кресленням" щось побудувати, йому необхідно отримати доступ до будівельного матеріалу, білків іншої живої істоти, де вірус одразу "оживає" і починає активно розмножуватися, паразитуючи на чужих життєвих функціях. Саме то-

му, проти вірусів немає сенсу використовувати антибіотики, цей клас ліків призначений для того, щоб вбивати чужі патогенні мікроорганізми, бактерії, але, оскільки віруси не живі, то й антибіотики на них ніяк не діють.



Вірус грипу під мікроскопом

Давши визначення, що таке життя, можна перейти до другого питання – звідки воно взялося? І головна проблема полягає у тому, що відповіді на це запитання (одну з тих самих "головних загадок", які розв'язує природознавство) ми не маємо. У той час як еволюція вивчена досить добре і зрозуміло, як життя розвивалося, щодо найпершої ланки цього ланцюга є певні сумніви. Саме тому далі розглянемо гіпотези, а не теорії виникнення життя, оскільки ми можемо лише припускати, як це відбулося, не маючи можливості створити машину часу, полетіти в минуле і перевірити наші припущення.

Усі гіпотези виникнення життя можна поділити на декілька класів. По-перше, це креаціонізм – створення життя Богом. Другий клас гіпотез – концепції стаціонарного стану, відповідно до яких життя існувало завжди, а отже, і ніколи не виникало. Третій – концепції неземного походження життя в результаті розвитку фізичних і хімічних процесів. І четвертий – концепції заро-

дження живої речовини з неживої. Розглянемо це все трохи детальніше.

Перша гіпотеза – креаціонізм. Створення життя Богом. Ця гіпотеза є головною та єдиною для людей, що існують у рамках релігійного світогляду, проте вона не сумісна з науковим образом світу – концепція креаціонізму, по суті, не є науковою, вона не відповідає жодному із критеріїв науковості, і хоча вона має право на існування, але у межах дисципліни "науковий образ світу" розглядати її не має сенсу.

Так само немає сенсу розглядати *гіпотезу стаціонарного стану*, оскільки вона передбачає вічність Всесвіту, а як відомо з теорії Великого вибуху, Всесвіт виник 13,7 млрд років тому, і в початкові моменти його існування ніякого життя точно бути не могло.

Концепція неземного походження життя, або панспермія – це гіпотеза про занесення живих істот на Землю з космосу. Згідно із цією ідеєю зародки простих організмів могли потрапити в земні умови разом з метеоритами та космічним пилом і покласти початок еволюції живого, яка, у свою чергу, породила все різноманіття земного життя. Однак існує головна і цілком зрозуміла проблема, яка полягає в тому, що ця гіпотеза не вирішує проблеми походження життя, а лише виносить її за межі Землі. Якщо життя було занесене на Землю з космосу, то де і як воно виникло? Існує варіант цієї гіпотези, що стверджує вічність життя у Всесвіті. Вважається, що після Великого вибуху, у результаті якого утворився наш Всесвіт, у процесі появи речовини на надранніх етапах еволюції Всесвіту відбувся поділ речовини на живе й неживе, і життя існує стільки ж часу, скільки й увесь космос, подорожуючи по ньому і заселяючи нові і нові планети. Ідея панспермії була популярна у першій половині ХХ ст., коли на однакових правах сперечалася з теорією абіогенезу, що на той час мала певні проблеми, однак у середині 1980-х років з'явилися нові наукові результати, про які йтиметься трохи далі, і концепція панспермії майже перестала розглядатися.

Отже, *абіогенез, або концепція зародження життя з неживої речовини* – це водночас і найновіша, і найстаріша гіпотеза зародження життя. Ця теорія була поширена ще в часи антично-

сті, у Давньому Китаї, Вавилоні, Греції та Єгипті як альтернативи креаціонізму, з яким вона співіснувала. Зокрема, дотримувалася теорії спонтанного зародження життя Арістотель. На його думку, певні "частки" речовини містять "активний початок", який за сприятливих умов може створити живий організм. Потім, у середні віки, єдиною допустимою гіпотезою став креаціонізм, але навіть в ті часи були вчені, які вірили у спонтанне зародження. Зокрема, відомий нідерландський хімік, фізіолог і містик *Ян Баптиста ван Гельмонт* описав свій експеримент, у якому він за три тижні "створив мишей". Для цього йому потрібні були брудна сорочка, темна шафа і жменя пшениці. Активним компонентом у процесі зародження миші ван Гельмонт вважав людський піт.

Звичайно, сьогодні подібна постановка експерименту видається досить наївною, але на той час не існувало ніякої достеменної інформації про живі істоти, не існувало мікроскопа, а всі експерименти проводились здебільшого методом спроб і помилок, але все ж іноді даючи правильні результати. Наприклад, у 1668 р. італійський біолог і лікар *Франческо Реді* взяв під сумнів теорію спонтанного зародження. Реді встановив, що маленькі білі черв'ячки, що з'являються на гниючому м'ясі, – це личинки мух. Він намагався позбутися їх і одержав результати, що підтверджують думку про те, що життя може виникнути тільки з попереднього життя (концепція біогенезу). Якщо немає личинок, то і мухи також не виникають.

Величезний поштовх у дослідженні проблеми походження життя зробив знаменитий французький хімік *Луї Пастер*¹ у 60-х роках XIX ст. Він довів, що бактерії, одні з найменших живих істот, всюдисущі, що неживі матеріали легко можуть бути заражені живими істотами, якщо їх не стерилізувати належним чином. Він кип'ятив у воді різні середовища, у яких могли б утворюватися мікроорганізми. І при додатковому кип'ятінні (процес пастеризації, названий саме на його честь) мікроорганізми гину-

¹ *Луї Пастер* (фр. *Louis Pasteur*, 1822–1895) – видатний французький мікробіолог і хімік.

ли. Добре прокип'ячене середовище залишалося стерильним, не виявлялося зародження життя, незважаючи на те, що доступ повітря був забезпечений. Отже, головний внесок Пастера в дослідження походження життя полягає в тому, що він остаточно (на той час) довів справедливність теорії біогенезу і спростував теорію спонтанного зародження. Слід розуміти, що спонтанне зародження, яким воно видавалося тоді, та абіогенез, яким він видається сьогодні, – це різні речі. Теорія спонтанного зародження передбачає, що неживе утворюється із живого весь час, якщо для цього існують певні умови, і, спростувавши це твердження, Пастер був абсолютно правий. Водночас сучасний абіогенез стверджує, що утворення живого з неживого трапилося лише колись, можливо, єдиний раз за всю історію Землі, коли умови на планеті абсолютно відрізнялися від сучасних. Один раз з'явившись, життя більше ніколи не зникало, але і нове живе з неживого також більше не утворювалося.

Повернення до абіогенезу відбулося вже на початку ХХ ст., і першу його теорію розробив у 1923 р. *О. І. Опарін*¹. Згідно з першими гіпотезами виникнення первинної живої молекули на Землі мало випадковий характер, вона з'явилася лише один раз за весь час існування нашої планети. І хоча ідея подібного випадкового виникнення ДНК (а саме ця молекула є основою сучасного життя) дотепер є найпоширенішою в науковій літературі, імовірність такої події насправді дуже мала. Багато вчених сумніваються у випадковості подібного процесу, і тут більш перспективним напрямом для природознавства є дослідження виникнення життя з неживої матерії на нашій планеті в ході процесів самоорганізації. Вивченням подібних процесів займається спеціальна наука, яка називається *синергетика*.

¹ *Олександр Іванович Опарін* (1894–1980) – радянський біолог і біохімік, який створив теорію виникнення життя на Землі з абіотичних компонентів.

Тема для самостійного опрацювання

Виникнення життя з точки зору теорії самоорганізації.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке життя?
2. Які головні властивості живого?
3. Чи є живими віруси, і чому?
4. Які бувають наукові гіпотези походження життя?
5. Який головний внесок Луї Пастера в ідеї про зародження життя?
6. Який головний внесок О. Опаріна в ідеї про зародження життя?

Лекція десята

ВИНИКНЕННЯ ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ

Однак повернемося до виникнення життя. Отже, якщо справедлива теорія абіогенезу і колись давно в результаті або випадковості, або самоорганізації живе виникло з неживого, то, як це відбувалося? Що саме започаткувало життя на Землі? Яка була перша істота, чи навіть протоістота? Це найскладніше запитання. Характеристики структурних і функціональних особливостей протобіологічних систем, тобто систем доклітинного періоду, вивчені досить погано. Як відомо, сьогодні основою всього життя є нуклеїнові кислоти, складні високомолекулярні біополімери, мономерами яких є нуклеотиди.

Існують дві природні **нуклеїнові кислоти** – **ДНК** (дезоксирибонуклеїнова кислота) і **РНК** (рибонуклеїнова кислота). Ці кислоти виконують в усіх живих організмах роль передачі і виявлення генетичної інформації. Саме в них, у послідовності, у якій розташовані окремі нуклеотиди, закодовано інформацію, яке саме це жива істота: лілія, миша, баобаб, кит або людина. Загальний принцип кодування і передачі інформації однаковий: подвійний ланцюжок молекули ДНК під дією спеціального ферменту поступово розпадається на два одинарні й одразу до кожного з них за принципом компліментарності приєднуються вільні нуклеотиди. Існують всього *п'ять нуклеотидів*: аденін, тимін, гуанін, цитозин та урацил; перші чотири – у молекулі ДНК, останній – у РНК замість тиміну. Кожний із них може взаємодіяти лише з комплементарним, парним йому: аденін лише з тиміном, а гуанін лише із цитозином. Таким чином відновлюється подвійна структура ДНК, але тепер таких подвійних молекул виявляється дві замість однієї. Так відбувається розвиток кожної живої істоти, і саме тут прихована одна із проблем виникнення життя...

Отже, для саморепродукції нуклеїнових кислот – основи генетичного коду – необхідні ферментні білки. Саме вони, як будівельники за "кресленнями" ділять і відновлюють ДНК; водночас для синтезу білків необхідні нуклеїнові кислоти.

Виникають два взаємозалежні запитання. *Перше*: що було первинним – білки або нуклеїнові кислоти? *І друге*: якщо визнати, що ці класи біополімерів виникли не одночасно, а послідовно, то на якому етапі і як відбулося їхнє об'єднання в єдину систему, здатну до функцій передачі генетичної інформації і синтезу білків?

Розглядаючи відповіді на запитання про первинність білків або нуклеїнових кислот, усі існуючі гіпотези і концепції можна розділити на дві великі групи: *голобіоз* та *генобіоз*. *Голобіоз* заснований на ідеї первинності клітинних структур, здатних до елементарного обміну речовин за участі ферментного механізму. Поява нуклеїнових кислот у голобіозі вважається завершенням еволюції. Спочатку був білок, – "будівельник", а лише потім з'явився ген, – "креслення". *Генобіоз* навпаки, переконаний у первинності молекулярної системи з властивостями первинного генетичного коду. Цю групу гіпотез і концепцій можна також назвати інформаційною. Первинною була не структура, здатна до обміну речовин з навколишнім середовищем, а макромолекулярна система, подібна до гена і здатна до саморепродукції, яку називають "голим геном". Це була інформація, яка певним невідомим чином сама себе копіює, без участі додаткових ферментів.

До 1980-х років спостерігалось чітко виражене протистояння гіпотез голобіозу та генобіозу. Було незрозуміло, що старше – ген або білок, генетична репродукція або метаболізм? Це протистояння двох концепцій, що по-своєму трактують характер доклітинного предка, відбувалось із початку ХХ ст., і кожна з гіпотез могла належати або одній, або іншій групі. Наприклад, перша, концепція О. Опаріна (1924), належить до групи голобіозу. Вона ставить генетичну інформацію у самий кінець ланцюга появи життя. Згідно з його теорією процес, що привів до виникнення життя на Землі, може бути розділений на три етапи: виникнення найпростіших органічних речовин, утворення з них білків, виникнення білкових тіл. Умови для початку процесу формування білкових структур згідно з цією концепцією встановилися з моменту появи первинного океану (бульйону).

Перші, найпростіші хімічні елементи: H_2 , H_2O , CO_2 , CH_4 , NH_3 під дією радіації та електричних розрядів сформували більш

складні молекули та полімери: HCN , H_2CO , CH_3OH , $\text{C}_{2n}\text{H}_{2n+2}$, C_nH_n . Із них утворилися азотисті основи, вуглеводи і карбонові кислоти. Після цього пройшов процес синтезу біополімерів, коли з'явилися нуклеотиди, полісахариди, амінокислоти та білки. І, врешті-решт, з них пішли перші живі істоти – прокаріоти, тобто ті, у клітинах яких ще не було ядра.

У 1952 р. був проведений знаменитий експеримент Міллера–Юрі. У цьому експерименті суміш найпростіших хімічних сполук – H_2O , NH_3 , CH_4 , CO_2 , CO – розміщувалася в замкненій посудині, після чого необхідно було пропускати через неї електричні розряди за температури 80°C , імітуючи умови, які існували на Землі на початку її існування. Виявилося, що дійсно, подібним чином можуть утворюються амінокислоти. Пізніше в різних умовах були отримані інші цукри та нуклеотиди, що дійсно підтверджує потенційну можливість подібного процесу. Однак у ХХІ ст. теорія Опаріна, що припускає початкове виникнення білків, майже поступилася місцем більш сучасним теоріям. Вона не є остаточно спростованою, але вже не розглядається як головна.

У живих організмах майже всі процеси відбуваються в основному завдяки ферментам, тобто білкам. Однак білки не можуть самореплікуватись і синтезуються у клітині лише на підставі інформації, закладеної в ДНК. Але й подвоєння ДНК відбувається тільки завдяки участі білків і РНК. Утворюється замкнене коло, унаслідок якого за допомогою теорії самозародження життя доводилося визнати необхідність не тільки абіогенного синтезу обох класів молекул, але і спонтанного виникнення складної системи їхніх взаємозв'язків. Можливе вирішення цього протиріччя було знайдено на початку 1980-х років у лабораторії Т. Чека й С. Олтмана в США, коли була відкрита каталітична здатність РНК. Саме так виникнула гіпотеза світу РНК-гіпотеза, яка описує найперші, ще доклітинного рівня, протоживі істоти, які і стали предками всього сучасного земного життя.

Рибонуклеїнова кислота (РНК) – це одна із трьох основних макромолекул (дві інші – ДНК і білки), які містяться в клітинах живих організмів. РНК складається із довгого ланцюга, у якому кожна ланка називається *нуклеотидом*. Кожний нуклеотид складається з азотистої основи, цукру рибози та фосфатної групи.

Послідовність нуклеотидів дозволяє РНК кодувати генетичну інформацію.

Латинські й українські коди для нуклеїнових основ такі:

- А – А: Аденін;
- G – Г: Гуанін;
- С – Ц: Цитозин;
- Т – Т: Тимін, не зустрічається в РНК, займає місце урацилу в ДНК;
- U – У: Урацил, не зустрічається в ДНК, займає місце тиміну в РНК.

Відкриття будови та структури молекули ДНК є, мабуть, одним із найбільш визначних відкриттів в історії біології та медицини. Його зробили на початку 50-х років XX ст. два видатні вчені – Джеймс Ватсон¹ та Френсіс Крік², за що через десять років вони отримали Нобелівську премію. Однак, маючи можливість зберігати генетичну інформацію, молекула РНК для цього не використовується. Сьогодні основою для збереження геному є молекула ДНК, а основні функції РНК у клітинних організмах – це передача генетичної інформації в білки та поставка відповідних амінокислот до рибосом. РНК служить проміжною ланкою, читаючи код ДНК і передаючи його до білків, і лише у деяких вірусах саме ця молекула є носієм генетичної інформації.

РНК має унікальні властивості. Вона наділена такою ж генетичною пам'яттю, як і ДНК, хоча і не має другого ланцюга. Немає жодного організму, у якого була б відсутня РНК, але є безліч вірусів, геном яких становить РНК, а не ДНК. РНК має каталітичні властивості, тобто за певних умов вона може робити те ж саме, що і білок – будувати новий організм.

¹ Джеймс Дьюї Ватсон (англ. *James Dewey Watson*, 1928) – американський молекулярний біолог, найбільш відомий за встановлення структури молекули ДНК у 1953 р.

² Френсіс Гаррі Комптон Крік (англ. *Francis Harry Compton Crick*, 1916–2004) – британський молекулярний біолог, фізик і нейробіолог, найбільш відомий за науковий внесок у встановлення структури молекули ДНК у 1953 р.



Отже, світ РНК – це гіпотетичний етап виникнення життя на Землі, коли як функцію зберігання генетичної інформації, так і каталіз хімічних реакцій виконували ансамблі молекул рибонуклеїнових кислот. РНК була першою молекулою, яка отримала

здатність до самовідтворення. Вона сама була і кресленням, і будівельником, вона одночасно і зчитувала, і будувала сама себе. Коли саме, через скільки мільйонів років після виникнення Землі з'явилася перша така молекула? Це невідомо. Але коли вона вже утворилася, на нашій планеті з'явилася можливість виникнення життя еволюційним шляхом, від найпростішого до більш складного, утворивши спочатку клітину-прокаріоту, потім еукаріота і, врешті-решт, багатоклітинний організм. Звичайно, ці хімічні сполуки ще не можна назвати живою істотою. Вони ще не мають меж тіла, які повинен мати будь-який живий організм. Їм ще не властивий обмін речовин. Однак це був перший щабель драбини еволюції і, зробивши цей крок, життя безупинно пішло далі.

Отже, перенесемося на 4 млрд років у минуле. У цей час Земля зіштовхнулася з небесним тілом за розміром як Марс (Тейя). Уламки, що утворювалися при зіткненні, були викинуті в космос і утворили Місяць. Атмосфера в той час не була щільною і складалася з різних отруйних газів: NH_3 , CH_4 , H_2 , Cl_2 , S_2 . Температура на поверхні становила близько 80 С. Природна радіоактивність у багато разів вища теперішньої. Увесь час відбуваються падіння величезних астероїдів – так зване "первинне бомбардування", коли малі тіла Сонячної системи ще не зайняли свої стаціонарні місця, а рухалися хаотично в усі напрямки. Звичайно, життя в таких умовах було ще неможливим. Але проходять кілька сотень мільйонів років і умови на Землі змінюються. Перші хімічні сліди життя віком приблизно 3,5 млрд років були виявлені в гірських породах Австралії. Можливо, життя зародилося саме в гарячих джерелах, де було багато живильних речовин, у тому числі, і нуклеотидів. Найбільш прадавня знайдена форма життя – це добре збережені залишки бактерій (вік 3,46 млрд років).

Якщо 4 млрд років тому життя точно не було, а 3,5 млрд точно було, то логічно припустити, що життя зародилося в цьому інтервалі часу. За сучасними науковими результатами вважається, що еволюція життя на Землі розпочалася з моменту появи першої живої істоти приблизно 3,8 млрд років тому. Подібність між усіма організмами вказує на наявність загального предка, від якого пішли всі інші живі істоти. Цього гіпотетичного пред-

ка називають **LUCA** (від англ. *Last Universal Common Ancestor*) і він повинен був мати всі головні особливості, які має сучасне життя – його ДНК мало б складатися із двох спіралей та чотирьох нуклеотидів, РНК у нього мала б передавати інформацію з ДНК у білки-ферменти, за джерело енергії слугувати АТФ (аденозинтрифосфат, або аденозинтрифосфорна кислота), клітина мала б бути оточена клітинною стінкою тощо. Вважається, що LUCA жив десь у геотермальному джерелі 3,8 млрд років тому, і хоча він не був ані єдиною живою істотою на Землі, ані першою, усі його попередники та сучасники вимерли, а його нащадки утворили всю ту різноманітність життя, що зараз є на Землі. Якщо це так і LUCA дійсно існував, то ми всі походимо від нього, і кожний грибок або бактерія – наш багато-багатоюрідний родич.

Тема для самостійного опрацювання

Гени та мутації.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке ДНК, РНК, із чого ці молекули складаються, у чому полягає різниця між ними?
2. Яким чином у молекулі ДНК записана інформація про кожну живу істоту?
3. Які чотири (п'ять) нуклеїнових основ бувають?
4. У чому полягає принцип компліментарності?
5. Розкрити концепцію О. Опаріна.
6. Що продемонстрував експеримент Міллера–Юрі?
7. Яку головну функцію виконують білки?
8. У чому полягають гіпотези голо- та генобіозу?
9. Чим був світ РНК і в чому полягають унікальні особливості цієї молекули?
10. Які перші живі організми виникли і коли це сталося?
11. Що таке LUCA?

Лекція одинадцята

ІСТОРІЯ ЕВОЛЮЦІЇ ЖИТТЯ

Щоб описати, як після появи першого живого організму розвивалася еволюція, зручно скористатися термінами із геології, а саме, еонами, ерами та періодами. Майже всю інформацію про життя в прадавні часи ми отримуємо саме з геологічних досліджень, розглядаючи залишки живих істот, що залишилися в певних гірських відкладеннях, а отже, зміни геологічної будови землі відповідають і докорінним змінам життя, яке існувало в той час.

Еон (від грец. *aion* – вік) – найбільший підрозділ геологічної історії Землі, що об'єднує кілька ер. Еони можна розділяти по-різному, але зазвичай їх поділяють або на чотири, або на два, об'єднуючи перші три в один супереон. Чотири еони, це:

1) *Катархей* (або Гадей) – тривав 770 млн років (від 4570 до 3800 млн років тому, тобто від утворення Землі до появи життя);

2) *Архей* – тривав 1300 млн років (від 3800 до 2500 млн років тому);

3) *Протерозой* (найдовший еон) – тривав 2 млрд років (від 2500 до 542 млн років тому);

4) *Фанерозой* (останній, сучасний еон, у якому ми живемо) – розпочався 542 млн років тому.

Як було зазначено, іноді Катархей, Архей і Протерозой об'єднують у супереон – **Докембрій** (або **Криптозой**), і при такому розподілі еонів було лише два – Криптозой і Фанерозой. Як бачимо, межі між першими трьома еонами досить умовні, проведені з точністю до десятків мільйонів років, у той час як початок останнього еона, Фанерозоя, відомий абсолютно чітко – 542 млн років тому. Це пов'язано з таким явищем, як Кембрійський вибух, про який буде сказано трохи далі, і саме тому все, що було до нього, називають *Докембрій*.

Розглянемо зазначені еони більш детально. Перший із них – **Катархей** (або Гадей). Він тривав від 4570 до 3800 млн років тому, протягом 770 млн років. Описати цей величезний період історії Землі дуже просто. Атмосфери в цей час не існувало,

океанів і загалом рідкої води на поверхні не існувало також, не існувало і життя. Увесь час відбувались виверження вулканів, падіння великих і малих астероїдів, температура була надзвичайно великою і постійно відбувались електричні розряди. Можна сказати, що Земля в цей час була не дуже гостинним місцем, і умов для виникнення життя ще не було.

Після Катархея йде **Архей**. Він тривав від 3800 до 2500 млн років тому (1300 млн років). Земля вже трохи охолонула, і на її поверхні з'явилася рідка вода, що за різними теоріями або була утворена виверженнями вулканів, або занесена падаючими на Землю льодяними астероїдами і кометами. Головною подією в цей час була поява першого життя. Вважається, що цим життям були перші анаеробні бактерії та археї, найбільш примітивні прокаріотичні (не маючи клітинного ядра) живі організми, які виникли в гарячих водних джерелах. Саме в таких умовах нащадки тих істот можуть бути знайдені і досі. У цей час ще не було кисневої атмосфери, атмосфера була схожа на ту, що зараз існує на Марсі або Венері, складалась здебільшого із азоту та вуглекислого газу, а весь кисень, що утворювався, одразу йшов на окиснення гірських порід.

Наступний за Археем еон – **Протерозой**, що тривав 2500–542 млн років тому (2 млрд років, найдовший з усіх). Саме в цей час остаточно відбувалося формування єдиного світового океану, що вкривав більшу частину Землі. У цей еон відбулася так звана киснева катастрофа (киснева революція) – це докорінна зміна навколишнього середовища, що трапилася приблизно 2,4 млрд років тому. Склад атмосфери в цей час різко змінився, у ній з'явився кисень у великих кількостях, який був вироблений існуючими на той час живими організмами, які фактично таким чином знищили самі себе. Створивши кисень, як побічний продукт своєї життєдіяльності, вони відкрили дорогу новим, дихаючим живим істотам, що одразу зайняли всі головні екологічні ніші, витіснивши з них своїх попередників. У цей час зникають анаеробні живі істоти, що існували до цього, і з'являються аеробні. Важливою ланкою Протерозоя було так зване Гуронське зледеніння, яке тривало близько 300 млн років, коли внаслідок великої кількості кисню в атмосфері температура на Землі знач-

но впала, і вся поверхня Землі була вкрита товстим шаром криги, під яким, у глибинах океанів, продовжувало існувати життя. Подібні періоди повного обледеніння Землі називають концепцією "Земля-сніжок" (англ. *Snowball Earth*), а планета мала приблизно такий вигляд, який зараз має супутник Сатурна Енцелад, тобто була абсолютно білою.

Отже, у Протерозой життя існувало тільки у воді. Замість анаеробних організмів з'являлись аеробні бактерії. Приблизно 1850 млн років тому одні клітини входили в симбіоз з іншими, проникаючи одна в одну, і таким чином утворювались нові живі істоти – еукаріоти, тобто ті, що мають всередині клітини ядро. Приблизно 1700 млн років тому на Землі виникли перші багатоклітинні організми (гриби, губки), які спочатку були фактично колоніями одноклітинних істот, не маючи розподілу на тканини різного призначення, але поступово еволюціонували, перетворившись на справжні організми. Приблизно 1200 млн років тому з'явилися перші водорості, а самий кінець Протерозою (~635 до 542 млн років тому) називають "віком медуз" через появу великої кількості саме цих живих істот. Життя в цей період було не дуже різноманітним – багатоклітинні водорості, губки, медузи, найперші, найбільш примітивні, безхребетні та членистоногі тварини. На цьому Протерозой закінчується і починається Фанерозой, який триває останні 542 млн років.

Назва **Фанерозой** походить від *φανερός* – явний, та *ζωή* – життя, тобто, на відміну від Криптозою (*κρυπτός*, *kryptós* – прихований), це період, про життя в якому ми знаємо досить добре. Якщо розгляд поділу попередніх еонів на ери для розгляду еволюції життя не дуже цікавий, то для Фанерозою це вже має велике значення. Він складається із трьох ер: *Палеозой* (від *παλαιός*, старий і *ζωή*, життя), *Мезозой* (від грец. *μεσο* – середній і *ζωή* – життя) і *Кайнозой* (грец. *καίνος* новітній + *ζωή* життя), тобто ери давнього, середнього та нового життя. Перша з них – **Палеозойська ера**, і починається вона Кембрійським періодом і такою подією, як Кембрійський вибух.

Кембрійський вибух стався 542 млн років тому. Це не був вибух у звичайному розумінні, це був еволюційний вибух – у **Кембрійському періоді** раптово з'являється величезна різноманіт-

ність живих організмів, предків нинішніх представників багатьох підрозділів тваринного світу. У відкладеннях, що передували кембрію рештки таких організмів відсутні. Це має такий вигляд, нібито раптово (за геологічними мірками раптово) на Землі виникає величезна кількість видів живих істот, яких до цього взагалі не існувало. Остаточного пояснення причин цього немає. Вважається, що однією з таких причин може бути те, що саме в цей час у живих істот виникає скелет, який залишається після їх загибелі в осадових гірських породах. Якщо це дійсно так, то насправді ніякого "вибуху" не було, просто ми не можемо знайти сліди тих живих істот, що жили до цього.

Проте можуть бути й інші причини подібного вибуху. Із цього часу розпочинається Кембрійський період, що тривав 541,0–485,4 млн років тому. У Кембрійському періоді на суші життя не існувало, життя продовжувало існувати лише в океанах. Еволюційний вибух кембрію породив на світ безліч різноманітних істот, і найважливішими серед них для еволюції були трилобіти, примітивні членистоногі, що мали багато важливих еволюційних змін, які сприяли подальшому розвитку нових, більш просунутих біологічних видів. У Кембрії з'явилися перші ґрунтові безхребетні – хробаки й багатоніжки. Також у цей період з'явилися коралові поліпи та головоногі моллюски. Окрім того, виникає така істота, як *хайкоуїхтіс* – перша з відомих тварин, що мала вже примітивний хребет, без якого життя ніколи не змогло б вийти і підкорити сушу.



Хайкоуїхтіс
(*Haikouichthys ercaicunensis*)

Зауважимо, що приблизно в цей період формується озоновий шар. Вважається, що приблизні часи появи великої кількості озону (озон – молекула, що складається із трьох атомів кисню, O_3) приблизно збігаються з кінцем Протерозою – початком Фанерозою, 500–600 млн років тому. Озон виконує дуже важливу функцію, поглинаючи велику кількість руйнівного для живих молекул ультрафіолетового випромінювання, що надходить до Землі від Сонця, і якщо для життя у воді це не дуже важливо, оскільки вода сама по собі поглинає весь ультрафіолет,

то на суші без озонового шару життя було б ускладненим, або навіть неможливим.

Наступний після Кембрійського йде *Ордовицький період*. Він настав 490 млн років тому і тривав 65 млн років. У цей час суша залишалася не обжитою за винятком примітивних лишайників, які першими із рослин вийшли на неї з морів. Продовжували свою розбудову синьо-зелені водорості, а основними мешканцями ордовицьких морів були різні типи членистоногих.

440 млн років тому настав *Силурійський період*, що тривав 30 млн років. У цей час на сушу почали виходити деякі рослини, наприклад, куксонії, які досягали у висоту не більше 10 см. У деяких членистоногих розвилися примітивні легені, що дозволяли їм на деякий час виходити з води і дихати повітрям. Членистоногі ставали ще більше, досягаючи своїх максимальних розмірів, наприклад, ракоскорпіон, що жив у той час, міг сягати 2,5 м у довжину, однак він був занадто великим, щоб виповзати на сушу. Як завжди, нове середовище легше було підкорити меншим, найпримітивнішим істотам. У силурійських морях остаточно сформувалися хребетні тварини.

Після Силурійського періоду настав *Девонський період*, що тривав 55 млн років. Життя продовжувало активно розбудовуватись на суші та морі. З'являлись перші примітивні ліси з найдавніших деревоподібних папоротей археоптерисів. На сушу ступили перші амфібії. Вони не могли жити вдалині від води, оскільки їхня шкіра була дуже тонкою і незахищеною від пересихання. Окрім того, амфібії могли розмножуватися тільки за допомогою води – ікринками, тому епохи домінування амфібій були завжди дуже теплі та вологі.

У риб розвинулися щелепи, що дозволяло їм ловити жертв, які швидко плавали. Конфлікт хижак–здобич привів до того, що істоти стрімко збільшувалися в розмірах, намагаючись або стати недоступними для полювання, або отримати можливість полювати на ще більшу здобич. У цю епоху з'явилися перші кісткові риби, такі як гігантська хижа гінерія.

Передостанній період Палеозою – *Кам'яновугільний період*. Він тривав 345–280 млн років тому. У цей час майже на всій планеті клімат був жаркий і вологий. Достатня кількість тепла, вологи

та кисню сприяли збільшенню розміру членистоногих, наприклад, *багатоніжка-Артроплевра* сягала 2,5 м у довжину, а бабка Меганевра мала 75 см у розмаху крил. Такі умови сприяли процвітанню амфібій, які були домінуючим видом сухопутних тварин.



Артроплевра

І саме у кам'яновугільному періоді амфібії дали початок рептиліям. Головна відмінність між ними полягала в тому, що рептилії могли відкладати яйця на суші. Замість ікринок, що не захищені від висихання, вони розмножувалися вкритими твердою шкаралупою яйцями, і вже не залежали від наявності водойм. Окрім того, їхня шкіра була водонепроникною, що захищало тварин від висихання. Якщо амфібії існували переважно біля морів та океанів, то рептилії займали центральні райони суші.

Далі настав **Пермський період**, який тривав 298,9–252,2 млн років тому. У цей час відбулися зміни клімату Землі внаслідок льодовикового періоду, що настав наприкінці Карбону, у Пермському періоді клімат став прохолоднішим і сухішим. Головними природними ландшафтами в цей час були пустелі і сухі рівнини. Вживали і росли лише найстійкіші рослини, такі як папороті та примітивні хвойні. Унаслідок зміни клімату різко скоротилася чисельність амфібій, які могли жити тільки поруч із водою. Натомість місце амфібій зайняли рептилії, що були добре пристосовані до життя в сухому кліматі.

У Пермський період відбулося так зване *Пермське вимирання*, яке ще іноді називають "великим вимиранням", або "найбільшим масовим вимиранням всіх часів". Це одне із п'яти масових вимирань, яке сталося приблизно 251,4 млн років тому. Протягом історії життя на Землі воно не було єдиним. Сьогодні відомо п'ять великих вимирань і близько 20-ти малих, саме такі вимирання поділяють Ордовіцький та Силурійський період, Девонський та Кам'яновугільний. Зазвичай причинами таких вимирань є певні катастрофічні події космічного масштабу, це може бути падіння на Землю величезного астероїда, вибух десь

недалеко наднової зірки, або певні земні причини – виверження супервулкану, що різко змінює клімат на планеті і призводить до того, що одні види зникають, а інші потім займають їх місце. Але навіть серед цих вимирань Пермське можна виділити окремо. Воно є однією з найбільших катастроф біосфери в історії Землі, яка призвела до вимирання 96 % усіх морських видів і 70 % наземних видів. Катастрофа стала єдиним відомим масовим вимиранням комах, коли вимерло близько 57 % родів і 83 % видів всього класу комах. На відновлення біосфери після такого масового вимирання пішло близько 30 млн років.



Проте в той час подібні катастрофи допомагали еволюції. Вимирання старих форм відкривало дорогу виникненню багатьом видам тварин, які довгий час залишалися в тіні: архозаври, від яких пішли динозаври, крокодили, птахи. І саме тоді з'явилися перші ссавці. Пермське вимирання завершує період давнього життя, Палеозой, і після нього починається нова, **Мезозойська епоха** (настала 251 млн років тому і тривала 175 млн років). **Мезозой** поділяють на три періоди – *Тріасовий період*, *Юрський період*, *Крейдяний період*. Якщо казати в цілому, то Мезозой – це епоха динозаврів, час повного домінування великих рептилій у всіх екологічних нішах, як на землі, так і у воді та повітрі. Це час найбільших гігантів, які коли-небудь існували на планеті.

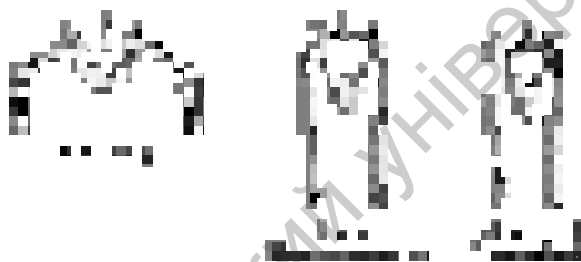


**Суперконтинент
Пангея до розколу**

Перший період Мезозойської ери – Тріасовий період. Він тривав 250–200 млн років тому. У цей час в результаті розколу гігантського суперконтиненту Пангея утворилося декілька материків, які поступово стали рухатися один від одного, щоб через декілька сотень мільйонів років стати такими, якими ми їх бачимо зараз. Клімат на більшій частині земної кулі в цей час був теплим і сухим. Тварини, що пережили пермське масове вимирання, опинилися у вигірній ситуації: на планеті майже не залишилося ані їхніх харчових конкурентів, ані великих хижаків. Рептилії, а це були саме вони, швидко зайняли всі вільні екологічні ніші та стали збільшуватися в чисельності. Тріасовий період – епоха архозаврів (грец. *αρχω* – правлю, *σαυρος* – ящір, тобто пануючі рептилії). Вони утворили три основні групи: динозаври, птерозаври та крокодилоподібні рептилії, і лише останні з них дожили до нашого часу.

Відбулася важлива зміна у фізіології рептилій – їх кінцівки змістилися відносно хребта, і якщо раніше вони розташовувалися тільки по боках (як у сучасних крокодилів або черепах), то тепер вони розмістилися знизу. Таким чином, рептилії отримали

властивість вставати і бігати на задніх лапах, що знову ж таки внаслідок еволюційного змагання хижак–здобич значно прискорило еволюцію. Така зміна дозволила архозаврам перейти до нового типу руху – ходьби та бігу на двох нижніх кінцівках. Спочатку вони вели водний спосіб життя, як сучасні крокодили, але із часом задні кінцівки видовжилися й архозаври змогли перебратися на суходіл, де вони стали пересуватися на задніх кінцівках. І саме від них походять перші двоногі динозаври. Такі динозаври Тріасового періоду, як *Ставрикозавр*, який існував 225 млн років тому, ще мав невеликий розмір, найбільші з них були порівнянні із сучасними собаками та котами, проте збільшення розмірів динозаврів було лише питанням часу.



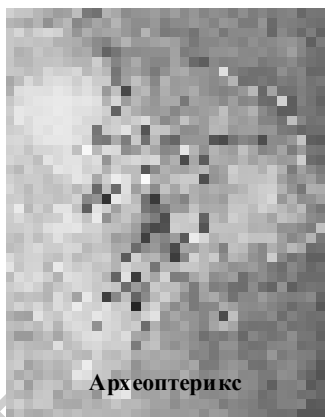
Зміщення типового положення кінцівок у рептилій (зліва) і динозаврів та ссавців (справа)

За Тріасовим настає *Юрський період*, що тривав 200–145 млн років тому. У цей час клімат став більш теплим і вологим. Величезні території усього суходолу вкрилися пишною рослинністю та різноманітними лісами, які складалися в основному із папоротей і голонасінних. Динозаври і птерозаври в цей час швидко збільшилися у розмірах, стали більш численними та різноманітними, і почали розселятися по всій Землі.

Динозаври були абсолютно різноманітні. Вони пересувалися як на двох, так і на чотирьох кінцівках. Були серед них як хижаки, так і травоядні, а також мали і різні розміри, – від декількох сантиметрів до десятків метрів. Термін *динозавр* (від грец. *δεινός* (*deinos*) – страшний, жадливий і *σαῦρος* (*sauros*) – ящір) увів у використання в 1842 р. англійський біолог *Річард Оуэн* для опису перших окам'янілих останків прадавніх ящерів, що вражали

уяву вчених своїми розмірами. Можна сміливо стверджувати, що динозаври були домінуючими наземними хребетними Мезозою. Їхні останки були знайдені на всіх континентах планети, включаючи Антарктиду. Однак зауважимо, що ми знаємо про цих тварин далеко не все. Наприклад, невідомо, чи були динозаври теплокровними, чи холоднокровними тваринами. Також невідомо, який саме вони мали вигляд, чи були вкриті шкірою, чи, як їхні близькі родичі, птахи, були вкриті пір'ям.

Під терміном *динозаври* зазвичай об'єднують всіх великих рептилій, але це неправильно. Не всі рептилії є динозаврами! Наприклад, існували також і птерозаври – рептилії мезозойської ери, що освоїли повітряне середовище проживання, і палеозаври, що вели водний спосіб життя. Окрім того, існувало ще багато видів рептилій, серед яких особливе місце відведено такому різновиду, як *Археоптерикс* (або *першоптах*), – істота, що поєднувала ознаки птахів і рептилій. Це була проміжна ланка між цими двома класами живих істот, і саме археоптерикс вважається предком всіх сучасних птахів.



Археоптерикс

Окрім рептилій, на Землі існували й інші тварини. Біля води продовжували жити амфібії, у морях – риби. У Юрський період на Землі жили дрібні, укриті вовною теплокровні тварини – ссавці. Вони не змагалися із динозаврами за домінування на землі, займаючи своє, невеличке місце в біосфері.

Останній період Мезозою – **Крейдовий період**. Він тривав від 145 до 66 млн років тому. Клімат на планеті залишався теплим; майже вся Земля була вкрита рослинністю. Саме в цей час з'явилися квіткові (покритонасінні) рослини, які поступово стали витіснити папороті та хвою. Саме Крейдовий період є справжньою епохою гігантів. У цей час жили гігантозаври й аргентинозаври – найбільші наземні тварини, що колись існували. Також в цей час з'явилися хижі тиранозаври та рогаті торозаври, відомі багатьом за філь-

мом "Парк Юрського періоду" (хоча більш коректно його було назвати "Парк Крейдового періоду"). Збільшилися розміри крилатих ящерів птерозаврів. Ссавці ще не відігравали в житті планети скільки-небудь істотної ролі, це невеликі тварини, але їх чисельність починала помітно збільшуватися. У цей час також виникли сучасні ящірки і наймолодша група живих істот – змії.



Тиранозавр

Закінчився Крейдовий період і Мезозой так званим *Крейдовим вимиранням* – великим вимиранням, яке сталося близько 65 млн років тому. Лише частиною цього масового вимирання було вимирання динозаврів. Разом із динозаврами вимерли морські рептилії, літаючі ящери і багато молюсків. Усього загинуло 16 % сімейств морських тварин і 18 % сімейств сухопутних хребетних. Проте більша частина рослин і тварин пережила цей період. Хоча вимирання динозаврів і більш відоме, але для планети воно було абсолютно не таким катастрофічним, як те ж Пермське. Не вимерли плазуни, черепахи, ящірки крокодили, птахи, ссавці, корали, наземні рослини, нічого не трапилося з комахами.

Причини Крейдового вимирання остаточно невідомі. Можна лише зазначити, що теорій, які намагаються його описати, безліч: падіння метеориту в районі сучасної Мексиканської затоки, вибух потужної наднові зірки, вулкани, хвороби, метеоритні потоки, квіткові рослини, що виробляли отруйний для динозаврів спирт, якась комета, зміна температур, до якої холоднокровні рептилії не змогли пристосуватися, зміна магнітного поля,

охладження океанів, конкуренція із ссавцями, які поїдали яйця динозаврів, або все це разом... Можливо, однієї причини і не було, і вимирання сталося через комплекс причин, але це достеменно невідомо.

Після крейдового вимирання розпочалась остання, **Кайнозойська ера** (або **Кайнозой**). Це найновіша ера в історії Землі, що настала 66–65 млн років тому і триває й досі. Вона так само поділяється на три періоди: *Палеоген* (який не слід плутати з палеозоєм!), *Неоген* і *Четвертинний період*, або антропоген.

Перший з них – **Палеогенний період**. Він тривав 66–23 млн років тому. Клімат на планеті в цей час був тропічним. Уся Європа була вкрита вічнозеленими тропічними лісами, і лише в північних областях виростили листопадні рослини. У цей час відбувся бурхливий розквіт ссавців.



Діатрима

Після вимирання великої кількості рептилій виникла безліч вільних екологічних ніш, які почали займати нові види ссавців. Тоді ще були поширені всі три групи ссавців, яйцекладні (типу сучасних качкодзьоба та єхидни), сумчасті (типу кенгуру) і плацентарні (усі інші). Найбільші тварини цього періоду – це великі хижі птахи, що вмівали бігати, *діатрими*. Їх висота сягала 2,2 м. У цей час зросла різноманітність квіткових рослин, які остаточно витіснили хвойні та папороті в несприятливі для життя екологічні ніші, і комах. У

морях домінували костисті риби. На Землі з'явилися предки багатьох сучасних груп звірів – копитних, слонів, гризунів, приматів, рукокрилих, китів тощо.

У середині Палеогену на значній частині планети густі джунглі поступилися місцем рідколіссям та рівнинам. Життя на відкритій місцевості сприяло збільшенню розмірів ссавців. Прибли-

зно 36 млн років тому почала замерзати Антарктика, клімат на планеті став більш прохолодним, а рівень води в океанах впав. Виникали нові види звірів – пращури сучасних носорогів, коней, свиней, верблюдів і кроликів. Серед ссавців продовжують з'являтися гігантські вегетаріанці, що були до 8 м у висоту і важили до 15 т.

Унаслідок руху материків Південна Америка й Австралія повністю відокремилися від іншого світу, саме тому там збереглася унікальна фауна, представлена сумчастими ссавцями й іншими тваринами. Близько 25 млн років тому в Азії утворились перші степи. Новий тип рослинності, злаки, перетворювались на пануючий, вкриваючи зрештою п'яту частину поверхні суші.

Після завершення Палеогену, настав **Неогеновий період**, який тривав близько 23,0–2,5 млн років тому. Клімат у цей час був майже такий, як зараз. Ссавці продовжували освоювати нові території, ішли в моря та повітря: у цей час виникли китоподібні та рукокрилі, або летучі миші. Плацентарні відтискали на периферію інших ссавців, на більшості континентів стаючи єдиним видом – ссавці. Фауна все більше почала набувати майже сучасного вигляду. Відмінності полягали в тому, що ще існували мастодонт, шаблезубий тигр, великі нелітаючі птахи діатрими. Клімат Землі став ще більш різноманітним. Якщо в інші періоди вся суша ставала то суцільними тропіками, то засушливими напівпустелями, то зараз планета розділилася на безліч кліматичних регіонів, у кожному з яких еволюція йшла своїм шляхом. У степах кожного континенту з'являлися всі нові види трав'янистих тварин і хижаків, що на них полюють: бики, олені, коні тощо.

Далі настав останній, сучасний **період**, який називають **Четвертинний**, або **антропоген** (від грец. *anthropos* – людина). Як можна зрозуміти з назви, він виділяється окремо саме тому, що на початку цього періоду виникли перші люди. Цей період почався 2,588 млн років тому і триває дотепер. Це час великих заледенінь. Льодовикові епохи чергувалися з відносно теплими, клімат під час минулих періодів між льодовиковими майже ідентичний сучасному. Тваринний світ змінювався не дуже суттє-

во, серед тварин, що вимерли, можна згадати мамонта, шерстистий носорога, великоротого оленя, печерного ведмедя, печерного лева. Окрім того, вимерли багато видів людей, у тому числі, неандертальці та денисівські люди (але зауважимо, що перед тим, як зникнути, частину своїх генів вони встигли передати виду *homo sapiens*, які тоді жили поруч з ними в Європі, і тому всі європейці мають невеличку частину неандертальських генів). Проте головною рисою антропогену є поява людини. Саме людина та її діяльність, особливо наприкінці цього періоду, стала тим домінуючим фактором, що вплинув на всю біосферу Землі.



Скелет мамонта
(Геологічний музей Київського національного
університету імені Тараса Шевченка)

Отже, сьогодні ми живемо в Четвертинний період Кайнозойської ери, і саме від нас залежить, як далі піде процес еволюції на Землі.

Тема для самостійного опрацювання

Теорія еволюції Дарвіна, головні ідеї та сучасний стан.

Запитання для самоконтролю

1. На які головні періоди поділяється історія Землі?
2. Чому за часів Катархея життя на Землі не було?
3. Описати життя на Землі в часи Архея.
4. Описати життя на Землі в часи Протерозоя.
5. У чому полягала киснева катастрофа?
6. Чому час до Кембрійського періоду називають Криптозой, або час прихованого життя?
7. Що таке Кембрійський вибух?
8. Описати еволюцію життя на Землі в часи Палеозою, Мезозою, Кайнозою (за періодами).
9. У чому полягас еволюційна перевага рептилій над амфібіями?
10. Великі вимирання: що це таке, які вам відомі, описати їх можливі причини.
11. Чому Мезозой називають епохою динозаврів?
12. Яка тварина є проміжною ланкою між рептиліями і птахами?
13. Чому ссавці почали домінувати на Землі тільки в останню, Кайнозойську еру?
14. Чому останній період Кайнозою називають "антропоген"?

Лекція дванадцята

СВІДОМІСТЬ. РОЗУМ. ІНТЕЛЕКТ

Головною відмінністю, яка вирізняє людину серед усіх інших живих істот є наявність свідомості. Що це таке і чим вона відрізняється від досить схожих, але все ж таки дещо відмінних понять? За визначенням, *свідомість* – це здатність людини пізнавати оточуючий світ і саму себе за допомогою мислення та розуму, у результаті чого формується інтелект особистості. *Розум* – сукупність пізнавальних та аналітичних здібностей людини, завдяки яким формується інтелект особистості. *Інтелект* – це інформаційний потенціал знань конкретної особистості, отриманий у результаті функціонування свідомості, мислення та розуму людини.

Як впливає із визначень, розум – це насамперед інструмент, це те, що працює для утворення свідомості. Може бути розум без свідомості, наприклад, певними початками розумової діяльності володіють тварини, але водночас немає жодного доказу, що у них є свідомість. Інтелект – результат розумової діяльності. І знову ж таки, можуть бути зародки інтелектуальної діяльності без свідомості. Наприклад, багато комп'ютерних програм мають певні інтелектуальні алгоритми, наприклад, гра в шахи, але ніхто не каже, що ця програма "усвідомлює себе", має свідомість. Свідомість – це сам процес. Він використовує інструмент-розум для того, щоб отримати результат-інтелект, з усіх відомих людству біологічних видів лише людина володіє свідомістю. Тільки людина може сказати про себе "я", розуміти себе, як особистість. Це найвища форма психічної діяльності, тісно пов'язана з таким поняттям, як мова. Саме через мову ми проявляємо нашу свідомість.

Незважаючи на інтуїтивне розуміння свідомості, щодо цього поняття існує багато відкритих запитань. Наприклад, чи є свідомість у людини, що перебуває в комі? З одного боку, її мозок (а саме мозок людини є матеріальним носієм розуму) працює, а з іншого, працюють не всі його розділи, людина може в такому стані ніяк не реагувати на оточуюче, і ми не можемо поки що

ніяк заглянути в її думки, щоб зрозуміти, чи усвідомлює вона себе. Інше відкрите запитання: коли у людини з'являється свідомість? У той час, коли лише формується зародок, її точно немає, а чи є вона, поки дитина ще перебуває в утробі матері? Чи є вона у щойно народженої дитини, чи усвідомлює вона себе? Чи пов'язано це із формуванням нервової системи, чи, може, з певним досвідом, що його людина повинна здобути? Окрім того, відкритим залишається запитання про позаземний розум: чи існують десь інші живі істоти, які усвідомлюють себе? Розум комп'ютерний: чи можливо штучно створити машину, яка б не тільки розв'язувала інтелектуальні задачі, але й усвідомлювала себе? За якими принципами працює наша свідомість?

Відомо, що матеріальним носієм нашого розуму є мозок, але більша його частина ніяк не пов'язана зі свідомістю. Він виконує ті самі функції, що й у наших родичів-тварин, обробляє нервові імпульси, реагує на подразнення, керує всіма процесами в нашому організмі. Лише невеличка частина мозку відповідає саме за свідомість. Це його кора. Кора головного мозку – зовнішній шар головного мозку, що складається із сірої речовини та виконує головну роль у процесах пам'яті, уваги, свідомості, мислення та мови. Розширена нижня лобна звивина і центр Брока, що відповідає за мовлення – фактично, це єдині принципи відмінності між головним мозком людини та , наприклад, мавп, і саме їхнє функціонування забезпечує людську свідомість.

Але чи мають свідомість або розум й інші тварини? Якщо щодо свідомості запитання залишається ще відкритим, то щодо розуму ми можемо сказати так, певні зародки розумової діяльності вищі тварини мають. Здатність тварин до мислення була предметом суперечок з античності. Зокрема, ще Арістотель виявив у тварин здатність до навчання і навіть припускав наявність у них розуму. Однак початок наукових досліджень з цього питання поклав *Чарльз Дарвін* у середині XIX ст. За той період, що минув з того часу, накопичилось багато фактів щодо поведінки тварин і виявилось, що далеко не завжди їх поведінку можна пояснити лише вродженими та отриманими інстинктами.

До інтелектуальних здібностей тварин належить їхня здатність до вирішення нетривіальних завдань. Але складність пове-

дінки не є підставою для автоматичного визнання наявності інтелекту у тварини. Наприклад, будівництво птахами гнізда чи борами греблі, хоча це є складними інженерними задачами, обумовлюється їхніми вродженими інстинктами. Проводилися експерименти, що показали: птах, що жодного разу в житті не бачив гнізда, якого ніхто ніколи не навчав його робити, вміє будувати його так само добре, як і решта птахів.

Великої популярності набули експерименти за участю мавп, де їх намагалися навчати мові. Оскільки через фізіологічні особливості свого організму мавпи не можуть відтворювати звуки людської мови, то їх навчали мові глухих. І виявилось, що вони дійсно здатні її осягнути в певному об'ємі – деякі мавпи запам'ятовували до 300 слів, і могли складати прості речення, висловлюючи свої побажання ("хочу їсти", "мені холодно" тощо).

Окрім того, є велика кількість свідчень використання тваринами знарядь праці, хоча раніше вважалося, що це можуть робити тільки люди. За допомогою палики шимпанзе можуть добувати їжу або полювати, вони використовують каміння, щоб розколювати горіхи. Це не є їхніми інстинктами, вони вчаться цьому, причому довгий час, і батьки передають подібні навички своїм дітям. Також, мабуть, багато хто бачив звичайних гав або воронів, які кидають горіхи під машини, щоб ті їх роздавили, або змочують шматок сухого хлібу у воді, щоб його легше було їсти. Також тварини володіють певними зародками математичних уявлень, і хоча вони не можуть зрозуміти абстрактні категорії, але розуміють, що таке "один" і "багато", і як вони відрізняються.

Щодо свідомості, то характерним тестом є здатність впізнавати своє зображення у дзеркалі і розуміти, що це не інший представник виду, а саме ти. Виходячи з цього, можна сказати, що лише вищі примати, шимпанзе та орангутанги є нашими найближчими родичами, що здатні до цього, решта тварин своє зображення ніяк не впізнає.

Можна також казати про розум тварин з точки зору їхніх фізіологічних особливостей, а оскільки носієм розуму є мозок, то саме оцінюючи його за певними параметрами, але абсолютна маса мозку не є критерієм розвитку інтелекту. Зі збільшенням розмірів тіла все більша маса мозку йде на контроль над потре-

бами самого організму, так найбільший мозок у кита, а мозок слона у багато разів більше, ніж мозок людини. Хоча ніхто не каже, що слон "розумніший" від нас. Тому для оцінок використовують так званий *коефіцієнт енцефалізації* (або індекс енцефалізації) – це міра відносного розміру мозку, тобто відношення фактичної маси мозку до прогнозованої маси тіла. Найбільшим цей коефіцієнт є для людини і становить (із певними коефіцієнтами) величину порядку 7,5. Друге місце щодо коефіцієнта не у наших найближчих родичів – шимпанзе (хоча у них він також великий, порядку 2,5), а у дельфіна афаліни – лише трошки менше, ніж у людини, порядку 4-5. Для порівняння, для горили цей коефіцієнт становить близько 1,5, а для собаки, яку люди зазвичай вважають розумною твариною, лише 1,2.

Отже, орієнтуючись на фізичні параметри мозку, другою за розумом твариною на Землі, після людини є дельфін. І дійсно, мабуть кожен знає або чув приклади, коли дельфіні демонстрували справді розумну поведінку, яку не можна пояснити лише їхніми примітивними інстинктами.

Також залишається відкритим запитання: чи можливо створити штучний інтелект? Воно аналогічне запитанню щодо розумової діяльності тварин. Принаймні на основі сучасної елементної бази і відомих принципів побудови комп'ютерної техніки, якщо не розглядати потенційно можливих, але існуючих лише у вигляді прототипів або неіснуючих взагалі квантові та біологічні комп'ютери. Загалом, під штучним інтелектом зазвичай мають на увазі здатність машин виконувати творчі функції, які традиційно вважаються властивими лише людині. Машини можуть добре обчислювати, але вони зазвичай погано виконують завдання, пов'язані зі створенням чогось нового, наприклад, – написання книжок чи музики, науковою діяльністю, і взагалі все, що пов'язане з творчістю, натхненням. Окрім того, проблемою для машин є навіть таке просте для людини поняття, як звичайне спілкування. І саме із цим пов'язаний один з найвідоміших тестів, який був вигаданий для визначення інтелектуальних властивостей машини.

Можливості комп'ютерів щодо швидкості обчислень набагато більші за людські, і тому зародилося запитання: чи можуть

вони сягнути рівня розвитку людини? Які межі їх можливостей? У 1950 р. відомий англійський математик *Алан Тюрінг*¹ запропонував ідею методу, який дозволить визначити момент, коли машина зрівняється з людиною щодо розуму. Цей метод дістав назву *тест Тюрінга*. Ідея цього тесту дуже проста. Як писав сам Тюрінг: "Людина взаємодіє з одним комп'ютером і однією людиною. На підставі відповідей на запитання вона повинна визначити, із ким вона розмовляє: з людиною або комп'ютерною програмою. Завдання комп'ютерної програми – ввести людину в оману, змусивши зробити неправильний вибір". Іншими словами, машина за Тюрінгом стане розумною тоді, коли людина, що розмовляє з нею, не зможе визначити, із ким саме вона розмовляє – із програмою чи з іншою людиною. Задача тестувальника полягає в тому, щоб задавати найнесподіваніші, неординарні запитання, намагатися ввести машину в оману, щоб вона помилилася і виказала себе, задача машини – реагувати на ці запитання так само, як реагувала би на її місці жива людина.

Хоча ідея тесту дуже проста і красива, інші вчені висловлювали думки проти використання тесту Тюрінгу для визначення розумності машини. Зокрема, у 1980 р. вчений *Джон Серль* висунув аргумент, який дістав назву уявного експерименту *китайська кімната*. Ідея цього експерименту така: нехай є ізольована кімната, у якій перебуває певна людина, що зовсім не володіє китайською. Однак у неї є велика книга, у якій записані інструкції, що мають вигляд, наприклад: "візьміть ієрогліф А з кошика 1 і помістіть його поруч з ієрогліфом Б із кошика 2". Однак в інструкції була відсутня будь-яка інформація про значення цих дій. Далі певний зовнішній спостерігач, що володіє китайською, через щілину передає в кімнату ієрогліфи із запитаннями, а на виході отримує відповідь, яку людина всередині кімнати буде за книгою з інструкціями, тобто фактично це аналог комп'ютерного алгоритму. Спостерігачу зовні буде здаватися, що людина всередині кімнати володіє китайською мовою, оскільки на осмислені запитання на кшталт "яка ваша найулюбленіша страва?"

¹ *Алан Матісон Тюрінг* (англ. *Alan Mathison Turing*, 1912–1954) – англійський математик, логік і криптограф, "батько" сучасної інформатики.

він отримує осмислені відповіді: "рис". Однак ця людина не має ніяких знань про ієрогліфи і не може навчитися ними користуватися, вона не розуміє ані початкового запитання, ні відповіді, яку дає, а лише користується книгою, яку хтось для неї склав. Це повна аналогія з комп'ютерними програмами, які проходять тест Тюрінга, з тією різницею, що, маніпулюючи літерами та словами, значення яких вони не розуміють, а без їхнього розуміння не можна вважати "розумними" у тому ж сенсі, що і людей.

Недоліком тесту Тюрінга є його антропоморфізм – він перевіряє, наскільки машина подібна до людини, а не розумність машини взагалі. А люди не є ідеальними створіннями. Іноді поведінка людини не піддається розумному тлумаченню, люди діють імпульсивно, нелогічно, і навіть самі не здатні пояснити потім причини своєї поведінки. Люди брешуть, люди висловлюють неповагу, люди ображаються, і тому тест Тюрінга вимагає, щоб машина імітувала абсолютно всі види людської поведінки, включаючи ті, що не піддаються жодному розумовому поясненню. Якщо машина веде себе абсолютно розумно, то людина-тестувальник це одразу помітить – жодна, навіть найрозумніша людина, не може обійтися без помилок. Окрім того, інтелектуальні можливості людини обмежені, люди думають повільно, і якщо машина здатна швидко вирішити деяку обчислювальну задачу, що не під силу людині, вона за визначенням провалить тест. Отже, для того, щоб пройти цей тест, програма має брехати, тобто вона має обмежувати свої можливості, повільно розв'язуючи ті задачі, які насправді може вирішити за частку секунди, лише для того, щоб бути схожою на людину. Але, за визначенням, штучний інтелект не обов'язково повинен бути саме людиноподібний, тому, незважаючи на свою популярність, не можна стверджувати, що тест Тюрінга абсолютно досконалий.

Окрім звичайного, існує ще зворотний тест Тюрінга, з яким кожен із сучасних людей зустрічався у своєму житті – це звичайна капча (CAPTCHA від англ. *Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart*). Перед виконанням певної дії людина отримує завдання – визначити символи, розв'язати задачу чи показати, де зображені будинки чи дорожні знаки. Таким чином сайт перевіряє, чи це дійсно людина, чи

машина – поки (і це основне!) не існує програм досить потужних для того, щоб розпізнати і точно відтворити текст зі спотвореного зображення. Обробка зображень, мабуть, є однією з найбільш складних для машини і найбільш простих для людини задач, де можна одразу визначити, хто це такий.

Отже, можна резюмувати, що штучний інтелект поки ще не створено. Існує великий прогрес у написанні так званих нейронних мереж, програм, що подібні за принципом своєї дії до людського мозку. Такі програми вже вміють малювати так, як малювали певні художники або ж можуть грати в шахи краще, ніж грають найкращі гравці. Проте це лише перші кроки до створення справжнього штучного інтелекту, і тому взагалі невідомо, чи може він бути побудований лише з використанням звичних нам мікро та наноелектроніки.

Окрім розуму тварин і штучного інтелекту існує ще один розум, існування якого завжди викликало цікавість людей. Це позаземний розум та відповідні позаземні цивілізації. Прихильниками ідеї про існування розумних істот за межами Землі були філософи і вчені епохи Відродження, включаючи Джордано Бруно, що стверджував про безліч заселених світів. Головною причиною такої думки людей є те, що Всесвіт дуже великий. При цьому виникнення життя, а потім і розумного життя, вважається абсолютно природним процесом, а оскільки наша Земля і Сонце – це типова планета і зірка, які не є особливими серед інших планет та зірок, то подібне могло статися і в будь-якому іншому місці Всесвіту, де є відповідні для цього умови. Навколо багатьох інших зірок також є *екзопланети* (екзопланетами називають усі планети поза межами Сонячної системи), окрім нашої Галактики існує безліч подібних. А отже, ми не маємо ніяких підстав стверджувати, що ми єдині у цьому Всесвіті. Навпаки, логічно припустити, що окрім нас на інших планетах також існує життя і розум. Проте контакт із цим розумом (якщо він існує) дуже ускладнений, головним чином через величезні міжзоряні відстані. До найближчої до нас зірки Альфа Центавра чотири світлові роки, тобто сигналу потрібно вісім років, щоб дійти туди і повернутися, не кажучи вже про космічні апарати, яким на цей шлях необхідно близько ста тисячі років. При цьому зо-

всім не обов'язково, що позаземні цивілізації існують саме там – вони можуть бути десь біля інших зірок, відстані до яких в десятки, сотні і тисячі разів більші.

Можна певним чином оцінити, скільки таких цивілізацій існує. Для цього використовують формулу, яку ввів астроном Френк Дональд Дрейк¹, її назвали *формулою Дрейка*. Отже, згідно з цією формулою кількість позаземних цивілізацій нашої галактики, що готові вступити в контакт, дорівнює

$$N = R^* \cdot f_p n_e f_\ell f_i f_c L,$$

де R^* – кількість зірок, утворених за рік, у нашій галактиці; f_p – частка зірок, які мають планети; n_e – середня кількість планет, що потенційно здатні підтримувати життя біля однієї зірки; f_ℓ – імовірність зародження життя на планеті з відповідними умовами; f_i – імовірність виникнення розумних форм життя на планеті, на якій є життя; f_c – відношення кількості планет, розумні мешканці яких здатні до контакту і шукають його, до кількості планет, на яких є розумне життя; L – очікуваний вік таких цивілізацій.

Зазначені параметри можна оцінити за найгіршим, середнім і найкращим сценарієм. Сам Дрейк отримав результат близько 10. Сучасні оцінки дають трохи менше значення, але воно все ж таки не дорівнює нулю. Із формулою Дрейка тісно пов'язаний парадокс Фермі, який названий так на честь *Енріко Фермі*, який його і запропонував. Цей парадокс полягає в тому, що: якщо позаземні цивілізації існують, і їх чимало, то чому ми не бачимо жодного сліду їхньої діяльності? Можливе вирішення цього парадоксу – гіпотеза унікальності Землі, яка стверджує, що життя може бути надзвичайно рідкісним через різні винятковості і рідкість планет земного типу. Необхідне існування величезної кількості збігів, щоб життя на Землі могло утворитися. Наприклад, Сонячна система розташована на особливій орбіті всере-

¹ Френк Дональд Дрейк (англ. *Frank Donald Drake*, 1930) – американський астроном.

дині Чумацького Шляху, вона вже сотні мільйонів років рухається між двома величезними спіральними рукавами, які містять багато наднових зірок, радіація яких робить вищі форми життя неможливими. Нам пощастило, що біля нашої системи майже не відбувалися вибухи наднових зірок. Окрім того, для життя важливу роль відіграє Місяць. Спричинені ним припливи стабілізували земну вісь, без них коливання осі призвело б до величезних змін клімату, які могли б регулярно знищувати життя. Відповідно, місячні припливи могли розігріти земне ядро, яке необхідне для генерування магнітного поля, яке захищає Землю від потоків сонячної радіації.

Проте є і прихильники протилежної точки зору, які наголошують на тому, що всі наведені аргументи – це вуглецевий шовінізм, тобто уявлення про те, що позаземне життя має бути таким саме, як і земне, хоча стверджувати це немає ніяких підстав. Життя може сформуватися на засадах абсолютно інших принципів, наприклад, на основі кремнію – це буде розумне живе каміння, яке зародилося не у воді, а у сірчаній кислоті; або ж життя на основі сірки; або взагалі мати не матеріальні, а енергетичні основи, наприклад, живі розумні кульові блискавки, що існують в атмосфері газового гіганта або зірки.

Звичайно, таке життя, якщо воно дійсно існує, знайти важче, ніж схоже на земне, оскільки ми не знаємо, чого від нього очікувати. Для пошуку позаземних цивілізацій існує вже багато років проект, який називається **SETI** (від англ. *Search for Extraterrestrial Intelligence*). Початок проекту SETI датують 1959 роком, а з 1971 р. його фінансує NASA. Цей проект передбачав використання 1500 радіотелескопів для пошуку радіосигналів інших цивілізацій, оскільки радіохвилі є, мабуть, єдиним засобом, яким чином можна про них довідатися. Окрім того, деякі вчені запропонували шукати "світлові" сліди позаземних цивілізацій – реєструвати освітленість нічного боку екзопланет, якщо він більше, ніж очікуваний, то можна припустити, що там існують освітлені міста.

Подібні проекти на сьогодні неможливо реалізувати за допомогою існуючої технології, однак, створюються нові і нові теле-

скопи, і, можливо, колись ми зможемо побачити сліди діяльності інших цивілізацій, якщо вони, звичайно, взагалі існують.

Також існує думка, що проект SETI несе серйозну небезпеку, оскільки позаземні цивілізації можуть бути агресивними, і тому краще не турбувати їх, поки ми самі не досягнемо достатнього рівня розвитку, щоб мати справу з ними на рівних.

Отже, доходимо висновку, що питання розуму та свідомості є одними з найзагадковіших. Володіючи цими якостями самі, ми не можемо сказати, чи володіє ними хтось ще, тобто, чи є розум у тварин, чи можна створити штучний інтелект, чи є позаземні цивілізації? Усі ці питання ще залишаються відкритими...

Тема для самостійного опрацювання

Нейронні мережі як найбільш перспективний напрям створення штучного інтелекту.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке розум, свідомість, інтелект, і як вони співвідносяться між собою?
2. Чому складну діяльність більшості тварин не можна вважати проявами їхнього розуму?
3. Які критерії визначають розумність тварини?
4. Що таке коефіцієнт енцефалізації?
5. Які проблеми створення штучного інтелекту?
6. У чому полягає тест Тюрінга, які його переваги та недоліки?
7. Що таке експеримент "китайська кімната"?
8. Що описує формула Дрейка?
9. Що таке парадокс Фермі та як він пов'язаний із формулою Дрейка?
10. Чим займається проект SETI?

Лекція тринадцята

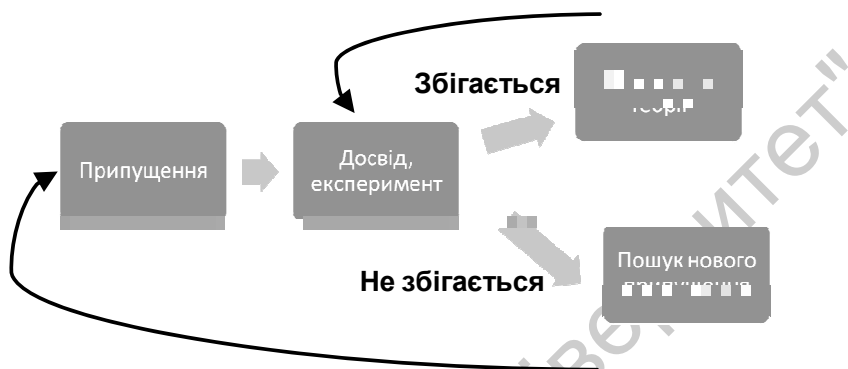
НАУКА ТА ПСЕВДОНАУКА

Розглянувши різні аспекти сучасного наукового знання про оточуючий нас світ, не можна обійти таку дуже важливу тему, як відмінність справжнього наукового знання, справжньої науки від так званої псевдонауки, або, як її іноді називають, лженауки. Псевдонаука в усьому її різноманітті є певною імітацією наукової діяльності, наукового знання. Вона може виникати як ненавмисно, наприклад, через недостатній рівень знання людей чи недостатню освіченість про сучасний стан наук, так і навмисно, тим самим не лише вводячи людей в оману, але й задаючи їм великої шкоди. Якщо дещо узагальнити, то **псевдонаука** – це певний вид людської діяльності, який використовує форму науки, ігноруючи її суть. Дуже вдале порівняння зробив Річард Фейнман¹, порівнявши псевдонауку з культом карго, відомою діяльністю примітивних культур, що імітували діяльність розвиненішої культури (напр., коли їм припиняли привозити гуманітарні вантажі, вони починали будувати з кокосових пальм і соломи аеродроми та літаки, очікуючи, що лише одна форма цих предметів подарує їм їжу з неба), абсолютно не розуміючи, що насправді стоїть за цією діяльністю, і, звичайно, не отримуючи від цього ніякого зиску. Так само і псевдонаука, незважаючи на те, що вона імітує справжню науку, використовує наукові терміни, наукові регалії, вона не виконує жодного завдання, що стоїть перед справжньою наукою (окрім, звичайно, фінансового збагачення людей, які цією діяльністю займаються).

Головне в науці, чого ніколи немає у псевдонауці, – це науковий метод. Для того, щоб відрізнити науку та лженауку, іноді важливіше знати саме науковий метод, ніж наукові факти. Наука може помилятись, наука може працювати лише для певної час-

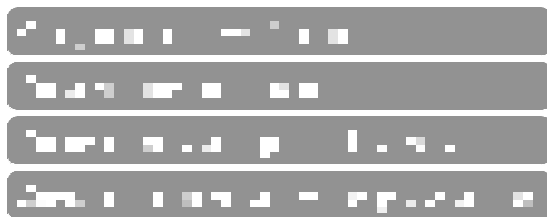
¹ Річард Філіпс Фейнман (англ. *Richard Phillips Feynman*, 1918–1988) – американський фізик, один із творців квантової електродинаміки; лауреат Нобелівської премії з фізики, автор класичного курсу фізики, найбільш відомий як популяризатор науки.

тини нашої реальності чи в певних наближеннях, але наука завжди використовує науковий метод пізнання світу. Схематично його можна зобразити таким чином.



Науковці роблять певне припущення, або на основі вже відомих фактів, або на основі деяких гіпотез, що ще не мають підтвердження. Після того, як припущення зроблено, проводяться дослідження і ставляться експерименти, і якщо вони збігаються з припущенням, то теорія приймається, якщо ж не збігаються, продовжується пошук нових припущень. Але, навіть якщо досвід підтвердив теорію, на цьому робота не завершується, для вже прийнятих теорій робляться все нові і нові експерименти, і теорія приймається лише доти, поки всі нові дослідження її підтверджувати.

На відміну від науки, псевдонаука – діяльність чи вчення, представлене їхніми прихильниками як наукові, проте за своєю сутністю не є такими. Головні засоби, які вона використовує, щоб маскуватися під справжню науку, такі:



Будь яка незрозуміла термінологія, яка схожа на наукову, викликає у звичайних людей певну повагу, навіть, якщо за цими словами нічого не стоїть. Усі наукові терміни мають чітке визначення (напр., *"Енергія зв'язку системи – мінімальна енергія, яку треба витратити, щоб розірвати зв'язані між собою частини складеної системи та віддалити їх на нескінченну відстань"*), а псевдонаукові – лише дуже розпливчасті формулювання (*"діти індиго мають ауру кольору індиго"*, тут немає жодного чіткого визначення, що таке аура, що таке колір аури, як цей колір може бути вимірний).

Так само повагу у звичайних людей викликають титули та звання, які псевдонауковці один одному присвоюють (*"доктор астрологічних наук"*, *"академік академії гомеопатії"*), хоча насправді окрім визнання таких самих псевдонауковців, за цими званнями не стоїть абсолютно нічого. Псевдонауковці полюбують посилатися на авторитетів. У науці авторитет кожного вченого визначається насамперед результатами його діяльності, що б не сказав найвідоміший вчений, але якщо його слова суперечать експериментам, то вони ніколи не будуть прийняті. Посилання на авторитетів у науковій літературі як доказ справедливості тієї чи іншої думки є ознакою низького рівня цієї роботи. На відміну від цього, авторитети псевдонауковців не підлягають сумніву. Псевдонаука полюбає демонструвати *"практичні результати"*, навіть не намагаючись знайти пояснення того, звідки вони взялися. Неможливі в науці твердження (напр., *"неважливо, як ці ліки працюють, якщо вони допомагають"*) у псевдонауці є абсолютно нормальними.

Отже, псевдонаука бере форму науки, але забуває про її зміст, бере терміни та концепції, але забуває методи та правила. Псевдонауці властиві певні характерні риси, а саме:

- супернатуралізм;
- визнання суб'єктивних джерел істини;
- нехтування принципом економії;
- використання гіпотез, які не можна сфальсифікувати.

Розглянемо це більш детально.

Супернатуралізм – напрям думки, який припускає наявність надприродної та надрозумної дійсності. Ця дійсність має пізна-

ватися або за допомогою особливої функції духу (віри, передчуття, духовної інтуїції), або ж за допомогою одкровення. Наука завжди може вказати, звідки та чи інша думка пішла, чому науковці вважають саме так, а не інакше. Псевдонаука дуже часто оперує одкровеннями, тобто вважає істинним певне знання лише тому, що так комусь забажалося.

Із супернатуралізмом тісно пов'язане *визнання суб'єктивних джерел істини* – усе наукове знання побудовано на чітких, добре відтворюваних експериментах, у той час як псевдонаука використовує твердження, які ніяк не можуть бути перевіреними і є лише власною думкою (одкровенням, об'єктом віри) їх автора.

Принцип економії полягає в тому, що якщо певне явище можна описати декількома способами, то треба обрати такий із них, який є найбільш простим. Цей принцип тісно пов'язаний з бритвою Оккама, про яку вже зазначалось, і є однією з основ всієї сучасної науки – можна будувати багато теорій, які будуть однаково правильно описувати певне явище, але поки всі вони не суперечать експериментам, то прийматися буде найпростіша з цих теорій. На відміну від науки, псевдонаука дуже часто для опису певного явища використовує складні конструкції, не маючи для цього ніяких підстав, вводить нові сутності, які нізвідкіля не впливають.

І, нарешті, останнє і, мабуть, найголовніше: псевдонауці властиве використання гіпотез, що не можуть бути сфальсифіковані. Ідею про фальсифікованість як критерій науковості висловив відомий британський філософ *Карл Поппер*¹, і саме вона вважається головною ознакою справжньої науки. Отже, розглянемо, у чому вона полягає. Будь яка гіпотеза є науковою, коли вона чітко сформульована. Чітке формулювання означає, що ми, гіпотетично, можемо провести експеримент, який міг би потенційно спростувати її. Тобто мають існувати такі потенційні факти (події), які, якщо вони стануться, покажуть неправильність теорії. Іншими словами, автор теорії повинен сказати: "якщо відбудеться те або те, то це означатиме, що теорія не працює".

¹ *Сер Карл Раймунд Поппер* (1902–1994) – британсько-австрійський філософ, логік і соціолог.

Теорію неможливо підтвердити. Скільки б експериментів ми не проводили, завжди є певна ймовірність того, що наступний експеримент спростує наші результати, і саме спростування результатів наукової діяльності попередників і є науковим прогресом. Але, будуючи теорію, ми завжди повинні закласти в неї можливість для її спростування, вказати, який експеримент покаже, що наша теорія не є правильною. Необов'язково, щоб цей експеримент був поставлений саме тут і зараз, цілком можливо, що для подібних експериментів у людства ще немає достатнього технічного рівня, але сама його гіпотетична можливість відрізняє наукову теорію від ненаукової. Це й є *критерієм фальсифікаціонізму*, або *критерієм Поппера*.

Слід розуміти, що "науковість" та "істинність" не є синонімами. Наукова теорія може бути абсолютно неправильною (напр., неправильними були наукові теорії про абсолютність простору і часу, про теплород, магнітну й електричну рідину, про ефір), але на основі кожної із цих теорій можна було поставити експеримент, що її спростує, що і було зроблено. Наприклад, теорія про ефір, який заповнює увесь Всесвіт, і в якому поширюються електромагнітні хвилі, була спростована експериментом Майкельсона, який показав, що світло поширюється саме по собі, без будь якого матеріального середовища.

Кожен із нас може запропонувати свою наукову теорію, наприклад: "мала планета Гуамаєа складається із голландського сиру". Незважаючи на її кумедність, ця теорія цілком наукова (з точки зору фальсифікаціонізму, а з точки зору супернатуралізму вона ненаукова, оскільки це одкровення її автора, яке не базується на певних наукових фактах), оскільки зрозуміло, як поставити експеримент, що її спростує: відправити космічний корабель на Гуамаєа і подивитися, із чого вона складається насправді. На відміну від цього, псевдонаукові теорії не можуть бути спростовані. Наприклад, твердження "особливі діти мають ауру кольору індиго" не містить жодної можливості для спростування, як і жодної іншої ознаки наукового твердження.

Отже, можна зробити найголовніший висновок: **наука завжди намагається себе спростувати**, у той час як псевдонаука завжди намагається себе підтвердити.

Найбільш відомі науковці – це не ті, хто довели те, що і до того було відомо, а хто спростував своїх попередників. Коперник, Галілей, Декарт, Ньютон спростували геоцентричну систему світу Птолемея. Ейнштейн спростував уявлення Ньютона про абсолютний простір і час. Бор, де Бройль, Шредінгер, Дірак, Гейзенберг спростували уявлення класичної фізики про те, що речовина і хвиля – це щось незалежне, а події у світі жорстко детерміновані. Наука ніколи не зупиняється. Кожен науковець мріє спростувати інших, оскільки тільки експеримент, який не збігається із сучасною теорією, дає поштовх до пошуку нової.

Зауважимо ще раз, що **довести теорію неможливо**, її можна тільки спростувати. Будь які експерименти робляться з певними обмеженнями, що доводять істинність теорії, наприклад, у певному діапазоні швидкостей, енергій чи часових проміжків, і кожен науковець розуміє, у чому вони полягають, і не буде стверджувати, що теорія, яка працює за цих параметрів, буде працювати всюди і завжди. І саме тому, усі теорії поділяються не на доведені чи не доведені, а на спростовані чи не спростовані. Чим менше вдається спростувати теорію, тим більш правдоподібною вона є. Наприклад, зараз не існує жодного факту, який би спростовував квантову механіку чи теорію відносності, оскільки вони дуже добре збігаються з усіма експериментами, проведеними протягом останнього століття. Проте це не означає, що ці теорії абсолютно істинні, оскільки існує ймовірність, що колись будуть нові факти, які новим науковцям дозволять внести в ці теорії певні зміни, або навіть спростувати їх, але на даний час такі факти людству не відомі. Так само не спростовано теорію еволюції, теорію Великого вибуху та багато інших теорій, що на даний час приймаються наукою як істинні.

Як стверджував Р. Фейнман: "Не можна бути впевненими, що ми праві. Ми можемо лише бути впевненими, коли ми помиляємося". На відміну від цього, псевдонауковці завжди намагаються підтвердити результати інших псевдонауковців.

Побудуємо таблицю, яка демонструє найхарактерніші відмінності науки та псевдонауки.

Наука

Знання відкриті. Кожна людина може ознайомитись з усім надбанням людства за всі часи і самотійно перекоонатися в істинності тієї чи іншої теорії.

Намагається спростувати себе. Завжди залишає місце для нових знань.

Політично та релігійно нейтральна. Справжня наука ніколи не торкається релігії чи політики, оперуючи тільки науковим знанням.

Помірність у висновках та практичних результатах. Навіть найбільш революційні теорії завжди робляться невеликими кроками, а їх застосування у житті людей може відбуватись упродовж років, і навіть десятиків років.

Термінологічний апарат є самодостатнім. Кожний термін має чітке визначення і чітку галузь застосування ("енергія", "імпульс", "фотон", "кварк").

Існує безліч псевдонаук, частина з яких є наслідком історичного розвитку людства, оскільки колись давно вони дійсно вважалися науками. Як приклад можна навести алхімію, астрологію, нумерологію. Від кожної з них отримала початок свого часу справжня наука, алхімія стала основою для хімії, астрологія – для астрономії, нумерологія – для математики, алгебри, геометрії тощо. Звичайно, сьогодні жодна з них наукою не є, незважаючи навіть на свою популярність. Наприклад, не існує жодного підтвердження того, що знак зодіаку може хоч якось впли-

Псевдонаука

Таємні знання. Істина доступна тільки для обраних, тільки вони розуміють справжню суть речей, а решта людей повинна їм сліпо довіряти.

Намагається захистити себе. Стверджує себе як істину в останній інстанції.

Зазвичай, але не завжди, виправдовує певну політичну доктрину чи релігію, чи ідеологічну концепцію, найвідомішим прикладом чого є теорія нацистів про "обраність" арійської раси.

"Революційні відкриття" і моментальний економічний, технічний, медичний прогрес – псевдонаука дає відповіді на всі запитання тут і зараз.

Наявність багатьох термінів "із повітря", які не визначаються ні межами даної теорії, ні наукою взагалі ("енергія аури", "астральний стан", "біополе").

вати на життя людини, гороскопи є типовим прикладом "одкровення", яке не базується на жодній теоретичній чи практичній базі, використовує багато додаткової сутності та принципово не може бути сфальсифіковане ("зірки вам обіцяли фінансовий успіх, а ви втратили все? Ну, цього разу не пощастило, що робити...").

Інша частина псевдонаук тісно пов'язана з релігією. Тут слід підкреслити важливу річ – сама по собі **релігія не є псевдонаукою**. Релігія не намагається використовувати наукові терміни, не намагається будувати теорії, які мають вигляд наукових, вона не намагається мімікрувати під науку – це зовсім інший, духовний, вид людської діяльності, який ніяк не позиціонує себе як науковий. У що вірити – це глибоко особиста справа кожної людини, що не має жодного стосунку до наукового образу світу. Однак на основі релігійних уявлень виникають псевдонауки, типовим прикладом якої є креаціонізм – псевдонаукове вчення, яке стверджує, ніби все життя на Землі виникло не в результаті абіогенезу та подальшої еволюції, а було створене вищою силою. Креаціонізм не можна вважати альтернативою теорії еволюції, оскільки, на відміну від неї, він не є наукою, а є типовою псевдонаукою. До цієї групи псевдонаук можна віднести і ті, що використовують містику – телепатія, телекінез, спіритизм тощо. Жодного наукового підтвердження цих теорій немає.

Третя група псевдонаук є невдалою спробою заснувати справжню науку. До них належить відоме нове вчення про мову Марра, нова хронологія Фоменко, уфологія (вчення про прибульців). Ці вчення зазвичай спочатку дійсно є спробами науково підійти до нової проблеми, але потім вони втрачають зв'язок з реальністю, відмовляються від наукового методу і розвиваються як типові представники псевдонауки. Жоден справжній науковець не скаже, що людство єдине у Всесвіті: можливо, існують інші цивілізації, можливо, їх представники відвідували чи відвідують Землю. У той час, як вчені за допомогою проєктів SETI та йому подібних шукають позаземне життя науковим методом, уфологи розповідають всім про "зелених чоловічків", яких вони особисто бачили, і які уряд приховує на таємних військових базах. Зауважимо, що видатні вчені в одній галузі, як вищезгадані

етнограф Марр і математик Фоменко, можуть водночас бути псевдонауковцями в іншій галузі, а це підтверджує, що авторитет вченого не може бути доказом його правоти.

І нарешті, найбільш небезпечні псевдонауки – це ті, що можуть реально негативно впливати на життя людини. Зокрема, ідеться про гомеопатію та різні види альтернативної медицини (не слід плутати "альтернативну" і "народну" медицину, якщо останній вид, хоча і досить примітивний, але є справжнім видом медицини, то перший до неї не має жодного стосунку). Гомеопатія – це вчення про те, що хвороби можна виліковувати дуже розчиненими препаратами, які потенційно викликають ті самі симптоми, що й симптоми хвороби пацієнта, через те, що у води начебто є "пам'ять". Насправді гомеопатичні препарати не є ані корисними, ані небезпечними, оскільки концентрація речовин у них настільки низька, що наближається до нульової. На сьогодні не існує жодного наукового дослідження, яке б показало, що вплив гомеопатичних препаратів хоч якось відрізняється від впливу плацебо – речовини, що не має жодного медичного впливу, а "лікує" лише тому, що пацієнт вірить, що пігулка йому допоможе, тим самим лише активізуючи внутрішні резерви організму. Головна небезпека гомеопатії та інших видів альтернативної медицини полягає в тому, що поки хворий буде лікуватися подібними засобами, які, насправді, ніяк його не лікують, хвороба, яку на перших стадіях було можливо вилікувати справжньою медициною, може загостритися до того рівня, коли будь-яке лікування буде вже безсилим. Подібною псевдонаукою можна вважати "теорію світової змови" у її різних проявах, включаючи недовіру до науки, ВІЛ-дисидентство тощо. До псевдонаук також належить майже все, що пов'язує характер людини та її зовнішність (фізіономіка, графологія, френологія), багато психологічних вчень (соціоніка), хіромантія та дуже багато інших видів людської діяльності.

Але які ж підстави довіряти саме науці? Тут можна повторити те, що було вже сказано раніше. Сучасна наука побудована на знанні, яке людство отримало за багато століть. Усі найрозумніші вчені людства протягом сотень років намагалися спростувати наукові факти, які складають сучасну наукову картину сві-

ту, і зараз науковим є те, що ніким і ніколи ще не було спростовано. Наука завжди надає джерела своїх знань за першої вимоги, і ви самі можете на все подивитися – усі наукові результати, усі наукові публікації, результати всіх наукових експериментів усіх вчених по всьому світу завжди відкриті, і кожна людина за бажанням може власноруч переконаватися в істинності того, про що йому каже наука. На відміну від псевдонауки, наука відкрита кожному, хоча іноді, щоб її зрозуміти, треба дійсно докласти великих зусиль, у той час як псевдонаука дає відповіді на всі запитання тут і одразу, пропонуючи легкий шлях у нікуди.

Людям властиво робити багато помилок, які направляють їх до псевдонауки. Наприклад, вважати, "якщо мені гомеопатичні ліки допомогли, значить, вони працюють" – у науці неможливо зробити апроксимацію за однією точкою, і для того, щоб переконаватися, що ліки дійсно працюють, треба провести тестування ліків на декількох групах, наприклад:

- ті, що приймають справжні ліки і знають про це;
- ті, що приймають справжні ліки і не знають про це;
- ті, що приймають гомеопатичний препарат і знають про це;
- ті, що приймають гомеопатичний препарат і не знають про це;
- ті, що приймають плацебо і вважають, що приймають ліки;
- ті, що не приймають нічого тощо.

Усі ці хворі повинні бути приблизно в однакових умовах, а ті вчені, що проводять експеримент, до його завершення не повинні знати, який із хворих до якої групи належить. І тільки аналізуючи результати з великої статистичної групи, можна стверджувати, що той чи інший препарат справді діє, у той час як аргумент "я приймав, і мені допомогло" не має жодного наукового сенсу. Можливо, якщо б не приймав, то видужав би ще швидше. А можливо, видужав, тому що вірив, що препарат допоможе, тим самим активізувавши внутрішні резерви організму. Чи приймав разом із гомеопатичними інші ліки, і допомогли саме вони – без великого дослідження тут неможливо нічого ствер-

дживати достовірно, а всі подібні проведені дослідження саме і показали, що гомеопатія взагалі ніяк не діє на людину.

Людині інтуїтивно важно сприймати ймовірності. Людина інтуїтивно вірить у "справедливість світу", часто приписуючи випадковостям певну внутрішню причину. Людині властива довіра до авторитетів та телеологія (віра, що все відбувається через певну причину, що все у світі має мету – нічого не буває саме по собі), властива натуралістична помилка тощо. І тільки зрозумівши це, можна навчитися відрізняти наукове від псевдонаукового, справжнє від уявного, те, чим є оточуючий нас світ, від того, що нам хочуть нав'язати псевдонауковці.

Звичайно ж, щоб відрізняти науку від псевдонауки, було б непогано знати її, оскільки насправді наука – це дуже і дуже цікаво. Будемо сподіватись, що даний курс допоміг читачу трохи більше дізнатися про навколишній світ і зацікавитись ним.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке псевдонаука?
2. У чому полягає сутність наукового методу?
3. У чому полягає критерій науковості за К. Поппером?
4. Навести приклади псевдонаук і пояснити, чому вони не є науками.
5. Навести спільні та відмінні риси, що притаманні науці та псевдонауці.

ЛІТЕРАТУРА

Рекомендована

1. *Садохин А.П.* Концепции современного естествознания / А.П. Садохин – М. : Юнити-Дана, 2006.
2. *Концепції сучасного природознавства : підручник* / Я.С. Карпов, В.В. Кисельник, В.Г. Кремень та ін. – К. : Професіонал, 2004.
3. *Опанасюк А.С.* Сучасна фізична картина світу / А.С. Опанасюк. – Суми : вид-во Сум ДУ, 2005.
4. *Кшнякіна С.І.* Концепції сучасного природознавства : навч. посіб. – У 3-х ч. / С.І. Кшнякіна, Б.А. Міщенко, А.С. Опанасюк. – Суми : вид-во СумДУ, 2009.
5. *Найдыш В.М.* Концепции современного естествознания / В.М. Найдыш. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Альфа-М; ИНФРА-М, 2004.
6. *Савченко В.Н.* Начала современного естествознания. Концепции и принципы / В.Н. Савченко, В.П. Смагин, 2006.
7. *Клягин Н.В.* Современная научная картина мира / Н.В. Клягин. – М. : Логос, 2007.

Додаткова

8. *Эйнштейн А.* Эволюция физики. Развитие идей от первоначальных понятий до теории относительности и квантов / А. Эйнштейн, Л. Инфельд. – М. : Наука, 1965.
9. *Шкловский И.С.* Вселенная, жизнь, разум / И.С. Шкловский. – М. : Наука, 2006.
10. *Шредингер Э.* Что такое жизнь? / Э. Шредингер. – М. : Атомиздат, 1972.
11. *Фейнман Р.* Характер физических законов / Р. Фейнман. – М. : Наука, 1987.
12. *Фолсом К.* Происхождение жизни / К. Фолсом. – М. : Мир, 1982.
13. *Резанов И.А.* Великие катастрофы в истории Земли / И.А. Резанов. – М. : Наука, 1984.

14. *Хокинг С.* Крупномасштабная структура пространства-времени / С. Хокинг, Дж. Эллис ; пер. с англ. Э.А. Тагирова ; под ред. Я.А. Смородинского. – М. : Мир, 1977.

15. *Хокинг С.* Край Вселенной. Прошлое и будущее вселенной / С. Хокинг ; сост. Н.Д. Морозова. – М. : Наука, 1986. – С. 92–103.

16. *Хокинг С.* Краткая история времени: от Большого взрыва до чёрных дыр / С. Хокинг ; пер. с англ. Н.Я. Смородинской. – СПб. : Амфора, 2001.

17. *Хокинг С.* Кратчайшая история времени / С. Хокинг, Л. Млодинов ; пер. с англ. Бакиджана Оралбекова. – СПб. : Амфора, 2006.

18. *Хокинг С.* Природа пространства и времени / С. Хокинг, Р. Пенроуз ; пер. с англ. А. Беркова, В. Лебедева. – СПб. : Амфора, 2007.

19. *Еськов К.Ю.* История Земли и жизни на ней / К.Ю. Еськов. – М. : МИРОС, 1999.

20. Бейли Д. Доисторический мир / Д. Бейли, Т. Седдон. ; пер. с англ. – М. : 1995.

21. *Марков Александр.* Рождение сложности. Эволюционная биология сегодня. Неожиданные открытия и новые вопросы / Александр Марков, 2010.

22. *Марков Александр.* Эволюция человека. Кн. 1. Обезьяны, кости и гены / Александр Марков. – В 2 кн., 2012.

23. *Марков Александр.* Эволюция человека. Кн. 2. Обезьяны, нейроны и душа / Александр Марков – В 2 кн., 2011.

24. *Пенроуз Р.* Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики / Р. Пенроуз ; пер. с англ. под общ. ред. В.О. Малышенко. – 4-е изд. – М. : УРСС, ЛКИ, 2011.

ТЕМИ ДЛЯ ДОПОВІДЕЙ

Блок 1. Наукова думка в різних частинах світу

1. Наукова думка античного Єгипту.
2. Наукова думка Месопотамії.
3. Наукова думка стародавнього Китаю.
4. Наукова думка стародавньої Індії.
5. Наукова думка в арабському світі.
6. Наукова думка цивілізацій доколумбівської Америки.

Блок 2. Історія хімії

1. Історія розвитку хімії (алхімії) від найдавніших часів до зародження наукової хімії.
2. Зародження та розвиток наукової хімії XV–XIX ст. (Парцелас, Ломоносов, теорія флогістону, Лавуазьє, Дальтон, Берцеліус, Бутлеров тощо).
3. Д. І. Менделєєв та його періодичний закон.
4. Хімічні елементи: історія відкриття, від часів античності до XXI ст.

Блок 3. Найвидатніші сучасні фізичні теорії

1. Дж. Максвелл та його теорія електромагнітного поля.
2. А. Ейнштейн та головні ідеї теорії відносності.
3. Атом: історія відкриття будови (античність, Дальтон, Томпсон, Резерфорд, Бор...).
4. Радіоактивність: історія відкриття, види та небезпека.
5. Головні ідеї квантової механіки (де Бройль, Шредінгер, Гейзенберг, Дірак).

6. Синергетика – наука про самоорганізацію (Г. Хакен, І. Пригожин).
7. Найвідоміші українські вчені-фізики та їхні найвидатніші відкриття.

Блок 4. Незвичайні види матерії

1. Бозон Хігса та його пошук на Великому адронному колайдері.
2. Темна матерія і темна енергія.
3. Антиречовина.
4. Найбільші наукові проекти сучасності (прискорювач LHC, детектор гравітаційних хвиль LIGO, детектор нейтрино Super-Kamiokande, термоядерний реактор ITER...).

Блок 5. Космос

1. Які зірки бувають: діаграма Герцшпрунга–Рассела.
2. Найзагадковіші об'єкти космосу (чорні діри, квазари, пульсари тощо).
3. Перспективи і проблеми колонізації Сонячної системи.
4. Космічні проекти, які зробили і роблять найбільший внесок у дослідження Сонячної системи та космосу (Вояджери, марсоходи, Галілео, Кассіні–Гюйгенс, телескоп Хаббл тощо).
5. Космічна загроза (падіння на Землю астероїда, вибух наднової поруч із Землею тощо): міфи та реальність.
6. Пошук життя поза межами Землі (пошук життя на інших тілах Сонячної системи і пошук планет поза межами Сонячної системи та життя на них).
7. Космос та людина: чи впливають космічні події на щоденне життя кожного з нас.

Блок 6. Біологія

1. Класична теорія еволюції Дарвіна та її сучасний стан.
2. Еволюція людини: головні етапи та докази.
3. Антибіотики і щеплення: міфи та реальність.
4. ГМО: міфи та реальність.
5. Клонування: сучасний стан, проблеми та перспективи.
6. Стовбурові клітини.
7. Мутації: міфи та реальність.
8. У пошуках безсмертя: проблеми старіння і пошук вічного життя з погляду сучасної науки.

Блок 7. Глобальні проблеми сучасності та світ майбутнього

1. Пошук позаземних цивілізацій.
2. Нейронні мережі та інші шляхи до створення штучного інтелекту.
3. Обмеженість природних ресурсів. Альтернативні види енергії.
4. Глобальні зміни клімату: міфи та реальність.
5. Технологічна сингулярність.

ЗМІСТ

Лекція перша

Вступ. Зародження наукового образу світу 3

Лекція друга

Космологія. Наукова думка в часи античності
та в середні віки 14

Лекція третя

Наукова революція XVI–XVII ст.
і становлення класичної науки 24

Лекція четверта

Фізичні картини світу 36

Лекція п'ята

Матерія 44

Лекція шоста

Теорія Великого вибуху 54

Лекція сьома

Мегасвіт, основні космогонічні уявлення 62

Лекція восьма

Сонячна система. Галактика 72

Лекція дев'ята

Життя та гіпотези його походження 87

Лекція десята

Виникнення життя на Землі 95

Лекція одинадцята

Історія еволюції життя 102

Лекція дванадцята

Свідомість. Розум. Інтелект 117

Лекція тринадцята

Наука та псевдонаука 127

ЛІТЕРАТУРА

..... 138

ДОДАТОК. Теми для доповідей 140

Навчальне видання

ВИСОЦЬКИЙ Михайло Володимирович

Природознавство: науковий образ світу

Текст лекцій

ВПЦ "Київський університет"