Гільберг Т. Г., Засєкіна Т. М.,
Качко Г. О., Лашевська Г. А.

ПРИРОДНИЧІ НАУКИ

**Навчально-методичний посібник
для 10 класу
(експериментальний)**

1 частина

Київ
Оріон
2018

Відповідно до наказу Міністерства освіти і науки України № 863 від 03.08.2018 року «Про проведення експерименту всеукраїнського рівня «Розроблення і впровадження навчально-методичного забезпечення інтегрованого курсу «Природничі науки» для 10–11 класів закладів загальної середньої освіти» на період із серпня 2018 року по жовтень 2022 року» передбачено розроблення навчально-методичного забезпечення, що буде проходити експериментальну перевірку.

Навчально-методичний посібник «ПРИРОДНИЧІ НАУКИ» (експериментальний) для 10 класу закладів загальної середньої освіти, відповідає проекту навчальної програми, що розроблений авторським колективом під керівництвом Т. М. Засєкіної.

Зміст навчального матеріалу структуровано за модульним принципом. На початку вивчення кожної теми визначено очікуванні результати, які мають бути досягнуті учнями, передбачено посилання на джерела, які містять матеріал для актуалізації раніше вивченого, а також на додаткові джерела, які сприяють засвоєнню навчального матеріалу. Стиль викладу навчального матеріалу має ознаки науково-популярного, інформаційного та проблемного, що забезпечує сприйняття його учнями відповідної вікової категорії, та враховує той факт, що зазначений курс призначено для учнів, які не планують складати зовнішнє незалежне оцінювання із природничих предметів. Завершується кожна тема практичною частиною, що дає змогу перевірити засвоєння теоретичного матеріалу, а також сприяє реалізації діяльнісного підходу для формування практичних умінь і навичок. Система завдань і запитань може бути використана для організації різних форм навчальної діяльності на уроці та в позаурочний час.

Автори й видавництво готові до співпраці.
Усі зауваження та побажання надсилайте на електронну скриньку:
prirod-nauk@ukr.net

ЛАСКАВО ПРОСИМО!

Опинитися разом нам вдалося лише після того, як ви пройшли шкільною стежиною шлях у дев'ять років. Ви вивчали мову й літературу, історію й мистецтво, технології й математику, природничі предмети: біологію, географію, фізику й хімію та інші предмети. Одні з них були на початку цікавими, а потім ставали складними й незрозумілими, а тому — нецікавими. Деякі ж упродовж усього навчання були й залишилися вашими улюбленими предметами.

«Природничі науки» — це новий і незвичний предмет. Незвичність його полягає в тому, що у вас є нагода ознайомитися з короткою історією майже всього на світі.

У розділі «Всесвіт» ви дізнаєтесь, як зародився наш світ, яким він є зараз, і які можливі варіанти його розвитку. Ви дізнаєтесь, як людство, застосовуючи науки і технології, намагається розкрити таємниці Всесвіту. Здійснивши, по-справжньому, космічну подорож, ви повернетесь на третю планету від Сонця — Землю, і побачите, що і на рідній планеті ще не все людині відомо. Наприклад, ви знаєте, коли святкує свій день народження Земля? Щоб відповісти на це й багато інших питань, пов'язаних з геофізичними й хімічними процесами на Землі, ми вивчатимемо розділ «Земля».

І третій розділ «Біорізноманіття» ми також почнемо з процесу великого народження. Народження життя. Чи відомо вам, що процеси, які відбуваються у вашому організмі, багато в чому подібні до тих, що відбуваються, наприклад, у банані? Так, бо все, що існує на Землі, взаємопов'язане. І з'ясувати ці зв'язки — одне із завдань курсу «Природничі науки».

Важливо з'ясувати, як людина досліджує природу, як наукові відкриття й винаходи змінюють світ. І, головне, усвідомити, що безпечне й комфортне життя всіх мешканців на планеті Земля (у тому числі й нас з

вами) багато в чому залежить від того, наскільки свідомо ми використовуємо знання з природничих наук.

Незвичність цього курсу ще й у тому, що перед вами експериментальний посібник. Ви не побачите в ньому звичних для вас параграфів. Натомість матимете змогу працювати впродовж кількох уроків над однією темою: опрацьовувати її теоретично й практично. Посібник структуровано за окремими темами. На початку теми ви можете ознайомитися з результатами навчання, на які потрібно очікувати після завершення вивчення її. За допомогою QR кодів ви матимете доступ до матеріалів, які допоможуть пригадати раніше вивчене, та до додаткових джерел інформації. Вивчати деякі питання ви зможете під час виконання практичних робіт і проектної діяльності.

З огляду на те, що цей курс передбачає вивчення об'єктів і явищ живої й неживої природи засобами кількох природничих наук, у текстах вам траплятимуться рубрики, позначені відповідними піктограмами, які ілюструють думку астронома , біолога , географа , фізика , хіміка .

У кожному разі, нам доведеться охопити чималий обсяг інформації, виконати практичні роботи, співпрацювати в команді й набувати досвіду розв'язування проблем, виконавши все це разом за 140 годин, щоб у наступні 650 тисяч годин ці компетентності стали підґрунтям ваших майбутніх досягнень.

Тож почнімо негайно!

ЗМІСТ ПОСІБНИКА

ВСТУП

А.1. ПРИРОДНИЧІ НАУКИ
Чому виникли науки?
Скільки є природничих наук?
Людина — частина природи? Чи господар планети?
Де живе наука й чи можна без неї обійтися?
А.2. ВЕЛИКІ ВІДКРИТТЯ
Біологія до й після Дарвіна
Географія до й після Колумба
Хімія до і після Менделєєва
Фізика від Аристотеля до Ейнштейна
А.3. НАУКА Й СВІТОГЛЯД
«Ми» — люди і «він» — світ
Наука й медіа
Наука й мистецтво
Наука й технології

ВСЕСВІТ

Б.1. ВЕЛИКИЙ ВИБУХ
З чого все почалося?
Як науковці про це дізналися?
Б.2. МІКРО-, МАКРО- і МЕГАСВІТИ
Від мега- до мікро
Як вивчають мікро- і мегасвіт?
Рекорди «най» у живій і неживій природі
Б.3. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ВЗАЄМОДІЇ
На чому все тримається?
Що мене до тебе притягує?
Аж іскри від взаємодії
Найсильніша з найменших
Чому вона слабка, якщо така сильна?
«Велике об'єднання»
Б.4. З ДРІБНИХ ЧАСТИНОК
Чи є межа поділу?
Як народжуються хімічні елементи?
Спроби класифікації хімічних елементів
Між фізикою та хімією
Як у них розібратися, якщо їх понад сотню?
З дрібних частинок
Теорія будови речовини
Б.5. ЗАКОНИ ПРИРОДИ
Усе тече, усе змінюється

Хаос & порядок
Простір & час
Маса & енергія
Б.6. СВІТЛО: ЧАСТИНКА & ХВИЛЯ
Суперечка віків: хвиля чи частинка?
Як народжується фотон?
Про що може розповісти світло?
Де працює світло на Землі? Фотоефект
Де працює світло на Землі? Фотобіологія
Чудернацька хвиля
То підсилює, то послаблює
Чи завжди буває тінь?
Як послабити світло?
Таємниці кольорової смуги
Б.7. СОНЦЕ
Зоря на ймення Сонце
Із самого центра Сонця
Сонце і Земля
Б.8. ЗОРІ
Увіковічені на небі
Котра найяскравіша?
Чи всі однакові?
Як народжуються й живуть зорі?
Незвичайні зорі
Б.9. СТРУКТУРА ВСЕСВІТУ
Не лише зорі
Як живуть зоряні родини
Космічний марафон
Таємнича темна матерія
Яким буде наш Всесвіт у майбутньому?
Б.10. СОНЯЧНА СИСТЕМА
Ще одна таємниця народження
Будьмо знайомі
Вічні каруселі
Наш супутник
Наші найближчі сусіди
Далекі гіганти
Очікувані й неочікувані гості
Б.11. ДОСЛІДЖЕННЯ КОСМОСУ
Космічні перегони
Про Сонячну систему із Землі та космосу
Чи єдині ми у Всесвіті?

ВСТУП

А. 1. ПРИРОДНИЧІ НАУКИ

І знову ці науки… Невже без них не можна обійтися?
Зрештою можна й без наук, але в кам'яному віці

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Розуміти роль природничих наук у їхньому історичному й сучасному контексті як процес здобування наукових знань.

Установлювати причини й передбачати наслідки явищ та процесів природи (на прикладах).

Використовувати методи наукового пізнання, висувати й перевіряти гіпотези.

Застосовувати метод моделювання для дослідження об'єктів, явищ і процесів природи.

Висловлювати й *обґрунтовувати* судження щодо взаємозв'язків людини й природи

Усвідомлювати себе частиною природи

ЧОМУ ВИНИКЛИ НАУКИ?

Вам доводилося чути про малюнки в печерах, що залишили там ще прадавні люди. Зазвичай на стінах печер трапляються пересічні сюжети, як-от: полювання, бій, зображення Сонця, тварин, людей. Потреба спостерігати за природними явищами виникла, бо люди зрозуміли, що вони не просто живуть у світі, а є його частиною, і що обставини їхнього життя й природні явища тісно пов'язані.

Унікальність (у перекладі з лат. «унікум» — щось єдине у своєму роді, виняткове) людства якраз і полягає саме в тому, що притаманна людині розумова діяльність дає змогу пізнавати й пояснювати світ.

Кам'яний календар в африканській пустелі Сахара

Наскельний малюнок із зображенням людей, Сонця та комети (люди підняли руки, щоб захиститися від «другого сонця»)

Завдяки людській діяльності накопичувалося стільки знань, що це привело до зародження наук. Першими фізиками були грецькі мислителі, які спробували пояснити спостережувані явища природи. З праць учених-філософів античного періоду почався розвиток усіх природничо-математичних наук — фізики, астрономії, хімії, географії, біології, математики. Ще в античні часи почали розвиватися методи наукового пізнання природи. Проте початок сучасної науки із започаткуванням експериментальних і теоретичних досліджень відносять до періоду, який називають індустріальною революцією XVI — XVII століть у Західній Європі.

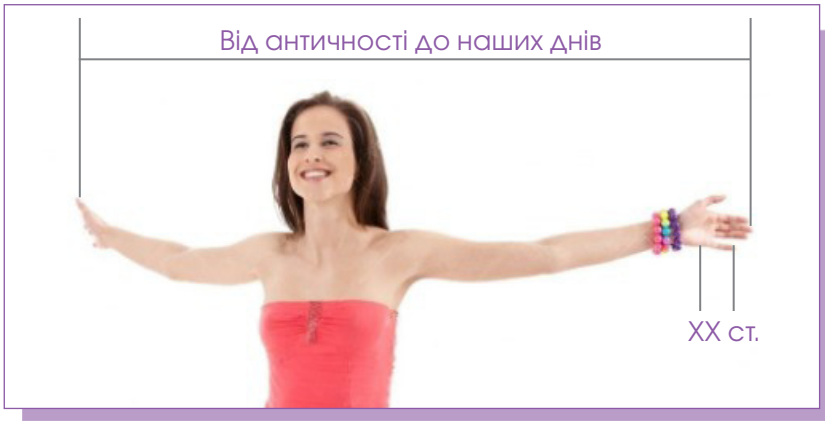
У XVII — XVIII ст. створено класичну механіку, хімічну атомістику, систему класифікації рослин і тварин, стверджено принцип збереження матерії й руху. Це був час створення перших європейських академій, наукових товариств, початку видання наукової літератури.

У XIX ст. виникли нові фізичні теорії (класичні термодинаміка й електродинаміка), було створено еволюційне вчення та клітинна теорія в біології, сформульовано закон збереження й перетворення енергії, висунуто й розвинуто нові концепції в астрономії й математиці.

На рубежі XIX та XX ст. було зроблено низку нових відкриттів у фізиці (електрон, рентгенівське випромінювання, радіоактивність тощо). Це привело до створення нових теорій — квантової й релятивістської, які уточнили класичні теорії й визначили їхні межі.

Якісно нового розвитку наука набула у XX ст. Відбулося її тісне зближення з виробництвом, із суспільним життям. Шалене XX століття подарувало людству космічні апарати, ядерну зброю, телефон, комп'ютер, штучні органи, клонування, нанотехнології, пепсі-колу та ще багато всього різного, що якісно змінило життя людей. І все це завдяки природничим наукам!

Ось тут любителі історії можуть дослідити, а що ж відбувалося впродовж майже 17 століть. Чому існує такий розрив від античних часів і аж до XVII століття? А любителі математики можуть обчислити, який відсоток займає XX століття на шкалі часу від античних часів до сьогодення. (Для наочності це співвідношення є таким, як зображено на малюнку, — лише мізинець порівняно з розмахом двох рук.)



СКІЛЬКИ Є ПРИРОДНИЧИХ НАУК?

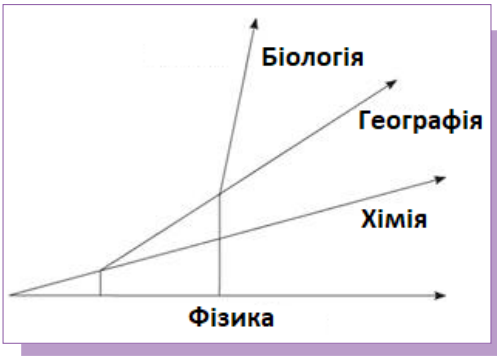
Природничі науки — галузі науки, що вивчають явища навколишнього світу в живій і неживій природі.

Фізика — наука про склад і структуру матерії, а також про основні явища в неживій природі	**Хімія** — наука про будову й перетворення речовин
Астрономія — наука про Всесвіт	**Біологія** — наука про живу природу
Науки про Землю (з вивчення планети Земля) — **географія, геофізика** й **геологія**	

Це лише основні природничі науки. Насправді вивченням природи займаються сотні наукових дисциплін — одна тільки фізика об'єднує ціле сімейство наук (механіка, термодинаміка, оптика, електродинаміка тощо): кожна зі своїм поняттєвим апаратом, специфічними методами дослідження певних об'єктів. Природничим наукам притаманне взаємопроникнення, унаслідок чого утворюються нові науки «на стиках» кількох наук: хімічна фізика, біохімія, біофізика, біогеохімія, геофізика та багато інших.

Залежно від методів, що лежать в основі досліджень, природничі науки можна поділити на такі:

- описові, що досліджують фактичні дані й зв'язки між ними;
- точні, що будують математичні моделі для вираження встановлених фактів і зв'язків, тобто закономірностей;
- прикладні, які використовують систематику й моделі описових і точних природничих наук для освоєння й перетворення природи.



Науковці спробували встановити зв'язок між чотирьма основними природничими науками на основі еволюційного підходу, де початкові етапи зародження Всесвіту описують виключно засобами фізики, а синтез хімічних елементів, виникнення планет і життя є своєрідними етапами космічної еволюції, які описують засобами хімії, географії й біології.

Науки про природу мають споріднені закони розвитку. Так, на першому етапі за допомогою емпіричних методів пізнання (*спостережень, вимірювань, експериментів*) нагромаджують значний фактичний матеріал про певну групу явищ природи. На їхній основі формулюють *гіпотезу* (наукове припущення) та створюють модель, за допомогою якої пояснюють явище. На цьому етапі створюють *теорію*. Перевірка висновків теорії на практиці, а також її застосування для розв'язування нових наукових проблем або підтверджують теорію й покладену в її основу гіпотезу або змушують відмовитися від неї як хибної та замінити на іншу.

Експериментальний і теоретичний методи пізнання є основою природничих наук.

Експериментом називають спеціально поставлений дослід або спостереження, які задовольняють таким вимогам:

- відтворюваність експериментальних результатів за виконання будь-якої кількості незалежних вимірювань (зокрема й таких, що проводять на різних установках, різними експериментаторами, у різних місцях);
- максимальна за цих умов точність вимірювання;
- повний контроль за всіма чинниками, які визначають перебіг досліджуваного явища.

У *теоретичних дослідженнях* значна роль може бути відведена *мисленнєвим експериментам*, *моделюванню*, *ідеалізації* та *формалізації* природних явищ. Так, наприклад, вивчення явищ на мікро- та нанорівнях спершу моделюють, досліджують методами математики, і лише потім перевіряють експериментом.

Метод моделювання полягає у створені моделі, яка відображає найсуттєвіші властивості явища й дає змогу значно спростити процес дослідження.

ЛЮДИНА — ЧАСТИНА ПРИРОДИ ЧИ ГОСПОДАР ПЛАНЕТИ?

Як було зазначено вище, об'єктом вивчення природничих наук є жива й нежива природа. До чого тут людина? — запитаєте ви. Хто ми? Яка роль людини на планеті? Де криється таємниця нашого існування на ній? Майже всі організми (за винятком пріонів[1]) від найпримітивніших до людини мають ДНК з аналогічною «комп'ютерною мовою», або генетичним кодом, усі дихають, живляться, розмножуються, ростуть. Це свідчить про те, що людина — частина органічного світу, пов'язана з ним родинними зв'язками.

«Людина — це частина цілого, яке ми називаємо Всесвітом, частина, обмежена в часі й у просторі. Вона відчуває себе, свої думки і почуття як щось окреме від усього іншого світу, що є свого роду оптичним обманом».

А. Ейнштейн

У сучасному швидкозмінному техногенному світі людина майже втратила взаємозв'язок із природою. Проте це не означає, що його немає. У процесі життєдіяльності ми багато в чому залежимо від природи. Вона дає нам повітря, воду, світло, їжу. Економічний розвиток і створення нових прогресивних технологій не були б можливими без використання природних ресурсів.

[1] Пригадайте, що це за організми, з курсу біології основної школи або дізнайтеся про них з додаткових джерел інформації.

У природі кожний організм живе не ізольовано. Навколо безліч інших представників живої природи. І всі вони взаємодіють один з одним. Взаємодії між організмами, а також їхні впливи на умови життя є сукупністю біотичних чинників. Серед них зазвичай виокремлюють впливи:

1) тваринних організмів (зоогенні чинники);
2. рослинних організмів (фітогенні чинники);
3. мікроорганізмів;
4. людини (антропогенні чинники)

Населення в усіх куточках планети розвивається, організовує свій побут і здійснює трудову діяльність із огляду на природні умови, клімат у місці проживання. Ще сто років тому академік В. І. Вернадський розвинув теорію єдності людини й біосфери. Джеймс Лавлок пішов ще далі й запропонував Гіпотезу Геї, згідно з якою планета Земля з усіма її мешканцями є єдиним живим організмом, що саморегулюється й має багато зворотних зв'язків. Усі ми є частиною природи — «простими громадянами природи»; усі живі істоти взаємопов'язані й взаємозалежні.

Жоден організм у природі не існує поза зв'язками із середовищем та іншими організмами. Ці зв'язки — основна умова функціонування екосистем. Через них відбувається утворення ланцюгів живлення, регулювання чисельності організмів і їхніх популяцій, реалізація механізмів стійкості систем та інші явища. Такі екосистемні зв'язки зумовлені всім ходом еволюційного процесу. І будь-яке порушення їх не залишиться безслідним, а відновлення потребуватиме багато часу.

На Землі мешкає величезна кількість організмів, які формувалися не одну тисячу років, і разом з ними формувалися і типи їх взаємовідносин.

У природі часто трапляється співіснування двох або більше видів, яке називають симбіотичним взаємовідношенням організмів (від поєднання грец. «сим» — разом, «біо» — життя), або симбіозом. Типи взаємовідносин наведено далі.

- **Нейтралізм** — обидва види незалежні й не чинять один на одного жодного впливу.
- **Конкуренція** — кожен з видів чинить на інший несприятливу дію. Види конкурують у пошуках їжі, укриття, місць відкладання яєць тощо.
- **Мутуалізм** — симбіотичні взаємовідносини, коли обидва види, що живуть разом, отримують взаємну користь.
- **Співпраця** — обидва види утворюють співтовариство. Воно не є обов'язковим, оскільки кожний вид може існувати окремо, ізольовано, але життя в співтоваристві їм обом приносить користь.
- **Коменсалізм** (дослівно — «живлення разом за одним столом») — взаємовідносини видів, за яких один з партнерів дістає користь, без завдання збитків іншому.
- **Аменсалізм** — тип міжвидових взаємовідносин, за якого в спільному місці існування один вид без протидії пригнічує існування іншого виду.
- **Паразитизм** — це форма взаємовідносин між видами, за якої організми одного виду (паразит, споживач) живуть за рахунок поживних речовин або тканин організму іншого виду (хазяїн) упродовж певного часу. Хязяїном, як і паразитом, може бути і тварина, і рослина.
- **Хижацтво** — тип взаємовідносин, за якого представники одного виду поїдають (знищують) представників іншого, тобто організми одного виду стають їжею для іншого.

Тепер зростає кількість людей, які поділяють погляди В. І. Вернадського і Дж. Лавлока й розглядають нашу планету як високоорганізований, енергонасичений і самонастроюваний єдиний організм, у якому ми є високоактивною частиною, від якої залежить існування біосфери.

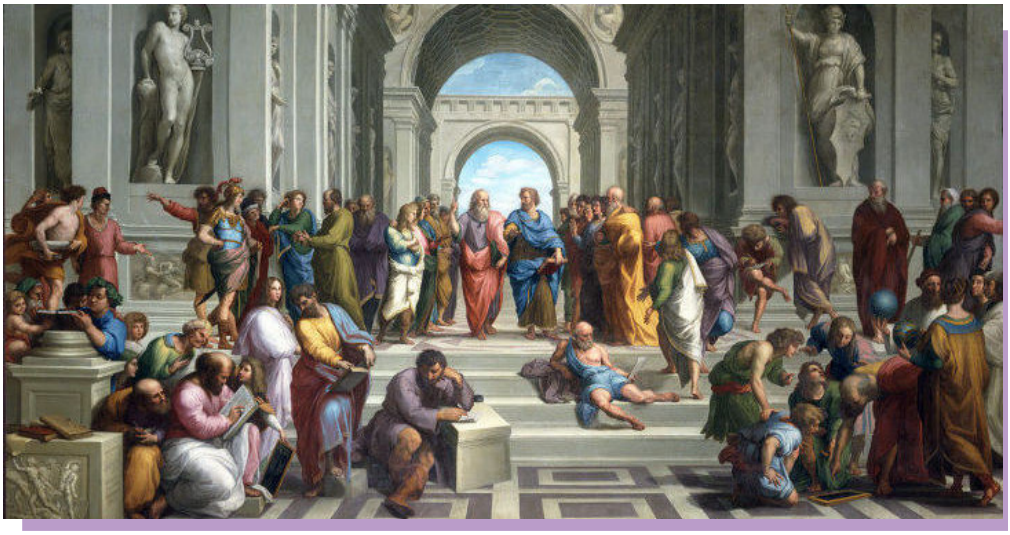
Проте, на жаль, велика частина суспільства ще далека від таких поглядів. Людина багато в чому втратила єдність із природою, оголосивши себе господарем планети й розвинувши хижацьке, нічим не обґрунтоване споживання земних ресурсів, що призводить до катастрофічних наслідків. Прикладів тому достатньо. Це й видобуток корисних копалин під землею, нафти — на морському шельфі, що призводить до утворення порожнин з подальшими провалами та навіть з локальними землетрусами. Непродумане ставлення до водних ресурсів планети веде до гострого дефіциту прісної води. Різке скорочення сільськогосподарських земель спричинює нестачу продовольства. Вирубування лісів руйнує природне місце існування багатьох тварин і рослин, веде до зниження вироблення кисню, що, у свою чергу, неминуче призводить до глобального потепління. На місці вирубки лісів вимивається ґрунт і утворюються пустелі. Непомірне використання виробів із пластику жахливо змінює стан довкілля й загрожує життю всіх його мешканців. І такі приклади можна наводити й далі, вони наочно демонструють планетарний масштаб загроз від діяльності людини. Порушується укладений понад сотні тисяч років тому баланс взаємовідносин між людиною й природою. Нам невтямки, що звичний стан земних умов руйнується в результаті нашої ж діяльності. Аналіз ситуації, що склалася, показує, що подальше ігнорування нами природних законів, і передусім закону динамічної рівноваги всього земного організму, не може залишатися без відповіді.

І річ не в тім, щоб залякати людей. Потрібно замислитися й змінити наше майбутнє. «Перемкнути» свою свідомість й інтереси. Задля цього ми маємо зрозуміти, як влаштовано світ, і взяти за мету зберегти його для майбутніх поколінь. Тварини не можуть змінювати своє майбутнє, а люди можуть, тому що в нас є розум.

ДЕ ЖИВЕ НАУКА Й ЧИ МОЖНА БЕЗ НЕЇ ОБІЙТИСЯ?

Сьогодні **науку** розглядають як сферу діяльності людини, спрямовану на отримання (вироблення й систематизацію у вигляді теорій, гіпотез, законів природи або суспільства тощо) нових знань про навколишній світ. Основою науки є наукове дослідження, що ґрунтується на спостереженні, експерименті зі строгими вимірюваннями, аналізі результатів, розробці гіпотез, теорій і формулюванні законів з обов'язковими повторюваністю результату й ретельною перевіркою. Людей, які виконують наукові дослідження, називають дослідниками, науковцями, ученими, які зазвичай працюють в установах академій наук.

Слово «академія» походить від імені міфічного героя Академа, на честь якого названо місцевість поблизу Афін, де Платон (427–347 до н. е.) заснував свою знамениту школу, яку назвали «академією».



«Академіями» називали багато наукових товариств Сходу й Західної Європи XII–XVI ст. Академії наук у сучасному значенні слова з'явилися в XVII ст.

Першою стала італійська Академія деї Лінчеї (Accademia dei Lincei), заснована в 1603 р. Метою її створення було вивчення й поширення наукових знань у галузі фізики.

У 1645 р. в Лондоні й Оксфорді видатні вчені Англії заснували «невидиму колегію», що стала в 1660 р. Лондонським королівським товариством (The Royal Society of London).

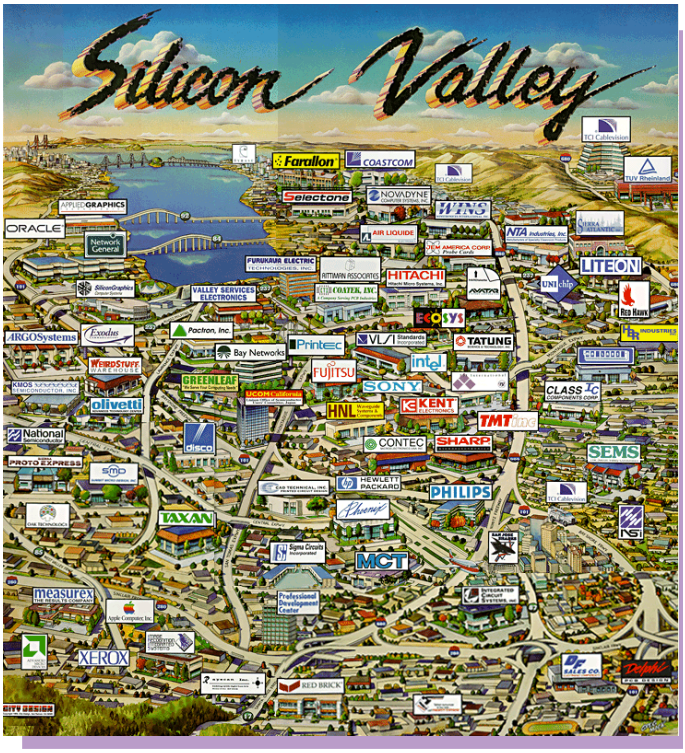
За таким само зразком почали створювати академії в інших країнах Європи. Зараз у світі налічується понад 200 наукових академій.

Національну академію наук США (United States National Academy of Sciences) утворено в 1863 р. актом Конгресу, підписаним президентом Авраамом Лінкольном.

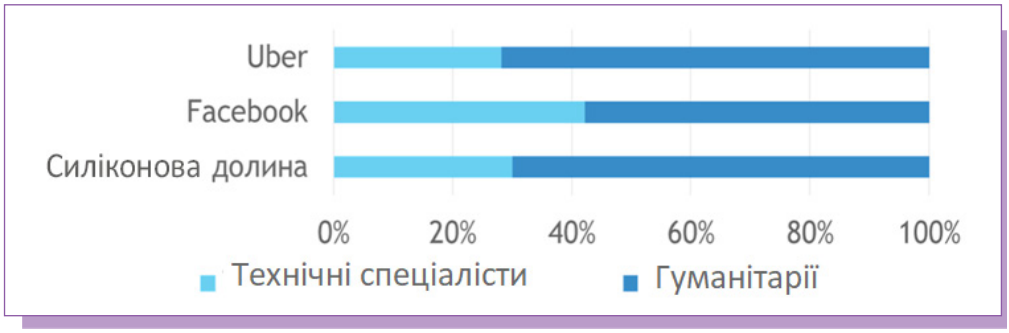
Українську академію наук (сучасна назва Національна академія наук України) засновано за указом гетьмана Павла Скоропадського й урочисто відкрито 27 листопада 1918 р. У НАН України діють науково-дослідні інститути та інші наукові установи (обсерваторії, ботанічні сади, дендропарки, заповідники, бібліотеки, музеї тощо), які здійснюють фундаментальні та прикладні наукові дослідження з найважливіших проблем природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук.

Багато людей вважає, що наука покликана задовольняти потреби людства, тобто постачати нові засоби для поліпшення життєдіяльності. Однак самі науковці вважають, що мають займатися наукою тому, що постійно шукають істину, дізнаються щось нове й цікаве про те, як відбувається те чи те явище, які закони, з огляду на це, можна вивести, і що із цим усім можна зробити. Зараз може здаватися, що все потрібне вже винайдено, основні закони природи зрозумілі, тому немає великої потреби в цьому копирсатися. Але, по-перше, загадки безмежні. Відповіді на запитання породжують тисячі нових запитань. По-друге, функції науки не обмежуються лише пошуком нових знань. Нова техніка й технології в усіх сферах життя суспільства — це результат діяльності науки. Що ліпше розвинена наука в країні — то вищий її загальний рівень розвитку. Що ліпше розвинена наука — то вищий інтелектуальний рівень та освіченість громадян.

Вам, напевно, доводилося чути про Силіконову долину, SpaceX, NASA та інші високотехнологічні компанії, установи й організації. Зараз наука оселилася й там.



І якщо ви вважаєте, що це якийсь окремий світ, у якому працюють виключно науковці з технічною й природничо-математичною освітою, ви помиляєтеся. За даними соціологічних досліджень, таких спеціалістів у наукоємних та інформаційно-технологічних компаніях менше половини. Такі компанії потребують маркетологів, PR-менеджерів, дизайнерів, UX-фахівців, тестувальників, фахівців служби підтримки, менеджерів проектів, бізнес-аналітиків, бізнес-перекладачів та фахівців з навчання персоналу — тобто спеціалістів соціально-гуманітарної сфери, які були б достатньо обізнаними з точними науками.



Тож годі й сподіватися, що уникнете науки. Ні! Вона постійно супроводжуватиме вас, де б ви не працювали, яку б спеціальність не вибрали. Єдине, що кожен з вас буде використовувати її по-різному. Головне, щоб кожен з вас розумів, що досягнення науки мають бути використані в гуманних цілях охорони всіх форм життя, а не для знищення їх. Технології не потрібно розвивати тільки тому, що вони теоретично можливі. Важливо завжди пам'ятати, що ресурси Землі обмежені, ніхто не має права на нескінченне збільшення частки використовуваних ресурсів; необхідно відрізняти наші необмежені запити від нагальних потреб. Збереження життя на Землі й створення екологічно стійкої економіки є найактуальнішими завданнями планетарної спільноти. Усе, що ми маємо, іде від Сонця й Землі, Земля без нас зможе існувати, а ми без неї — поки що ні.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Навіщо суспільству тепер потрібна наука?
2. Які етапи проходять учені під час проведення наукових досліджень?
3. Які особливості наукового пізнання природи? Спробуйте порівняти наукову діяльність фізика та історика.
4. Чи є відмінності в дослідженні об'єктів живої й неживої природи? У чому, на вашу думку, полягають складнощі спостереження за організмами в природі?
5. Наведіть приклади природних явищ, знання про які ви здобули в результаті власних спостережень.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

1. Робота з робочим аркушем «Основи наукових знань» (За матеріалами навчально-методичного посібника для учнів Поліхун Н. І. Як стати дослідником. Видання 2-ге, доповнене. — К.: ТОВ «Праймдрук», 2012. — 224 с. *http://kolosok.org.ua/wp-content/uploads/2016/11/polihun-man-metodi-naukovogo-piznannya-2013.pdf*)
2. Учимося висувати гіпотези, запитувати, класифікувати й систематизувати.
3. Скориставшись додатковими джерелами інформації, випишіть різні варіанти трактування понять «модель» і «моделювання». Наведіть приклади застосування моделювання на уроках біології, географії, фізики й хімії.

ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Що розповість про куряче яйце біолог, географ, фізик та хімік? (журналістське розслідування).
- 24 години: події у вашій місцевості; світі; Всесвіті (інтерв'ю з природодослідником).

ВСТУП

А. 2. ВЕЛИКІ ВІДКРИТТЯ

Важкий і тернистий шлях, пройдений людством, починаючи від глибокої старовини й дотепер, можна описати по-різному: через історію жорстоких воєн і потрясінь або напрочуд прекрасну історію літератури й мистецтва, а можна подивитися крізь призму найбільших відкриттів, що сколихнули світ і великих людей, які його змінили

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Характеризувати найважливіші природознавчі ідеї та відкриття, що змінили уявлення про світ і вплинули на розвиток цивілізації.

Систематизувати й *узагальнювати* найважливіші природознавчі ідеї та відкриття.

Виявляти й *обґрунтовувати* взаємозв'язки між розвитком науки та суспільства.

Усвідомлювати значення природничих наук у сучасному світі

БІОЛОГІЯ ДО Й ПІСЛЯ ДАРВІНА

Тривалий шлях розвитку біології можна поділити на такі основні періоди:

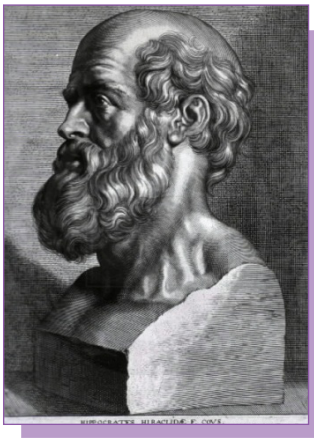
І. Період практичних донаукових знань (від кам'яного віку до рубежу XV – XVI ст.). Для цього періоду характерні спостереження та збирання відомостей про предмети та явища живої природи, перші описи об'єктів; спроби пояснень їх, часто з релігійних позицій. Біологія розпочинає свій розвиток із зародженням цивілізації. Перші відкриття здійснено в античні часи на Середземномор'ї Гіппократом, Аристотелем, Теофрастом, Галеном.

Основоположником біології прийнято вважати грецького вченого Аристотеля (384 – 322 до н. е.), результати робіт якого знайшли відображення у фізиці, філософії, психології та інших науках. Він розділив навколишній світ на чотири категорії: царство людини й тварин, рослин, землі, води та повітря, тобто йому належить перша спроба класифікації живих організмів. Цей давньогрецький учений описав понад 500 видів тварин, заклав основи біології, і його вважають основоположником зоології. Грецький лікар Гіппократ (460 – 370 до н. е.) уперше описав будову тіла людини та тварин, зазначивши, що чинники навколишнього середовища та спадковість упливають на розвиток захворювань.

Учень Аристотеля, Теофраст (370 – 280 до н. е.), досліджував рослини. Саме його вважають основоположником ботаніки.

Видатний давньоримський лікар і філософ Клавдій Гален першим описав анатомію людини, порівнявши її з будовою мавпи. Дослідивши нервову та кровоносну системи, він сприяв розвитку анатомії, фізіології, фармакології тощо. Варто відзначити праці перського лікаря Авіценни (XI ст. н. е.), поміж яких виокремлють «Канон лікарської справи». Учений визначив основні принципи раціонального (правильного) харчування, установив цінність кожної групи харчових продуктів для людини.

Середні віки були періодом розквіту філософії й теології. Медицина тоді була в занепаді. Така ситуація тривала до початку епохи Відродження.



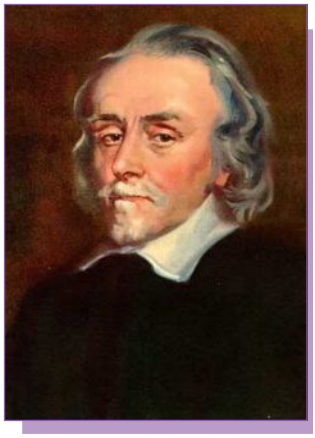
Гіппократ

Галлен

Авіценна

II. Описовий період (від рубежу XV, XVI ст. до середини XIX ст.). Для цього періоду характерним є аналітичний розвиток біології, формування перших систем знань про живу природу, нагромадження описових відомостей, на основі яких швидко розвиваються описові ботаніка, зоологія, систематика, а також морфологія, фізіологія та інші біологічні науки.

Італійський анатом і фізіолог Леонардо да Вінчі (1452 – 1519) описав, крім анатомії людини, багато видів рослин. Англійця Вільяма Гарвея (1578 – 1657), який дослідив та описав роботу серцево-судинної системи, вважають засновником фізіології людини й тварин. Рене Декарт (1596 – 1650), французький філософ і фізіолог, наблизився до розуміння ролі нервової системи, висунув ідею рефлексу, вивчив структуру й функції організму. Марчелло Мальпігі (1628 – 1694) — італійський біолог і лікар, один з основоположників мікроскопічної анатомії. Він вивчав кровоносні судини, відкрив капілярний кровообіг, описав ростковий шар епідермісу шкіри, будову селезінки, нирок і легень. Карл Лінней (1707 – 1778), шведський природодослідник, остаточно запровадив у систематику бінарну номенклатуру видів, закріпив уявлення про вид як найменшу, але основну одиницю класифікації. Першими конструкторами мікроскопа вважають Янсенів (батька й сина). Удосконалив мікроскоп основоположник наукової мікроскопії Антоні ван Левенгук (1642 –1723), який уперше в історії за допомогою свого мікроскопа спостерігав клітини різних організмів і пізніше опублікував малюнки живих клітин.



Вільям Гарвей

Антоні ван Левенгук

Карл Лінней

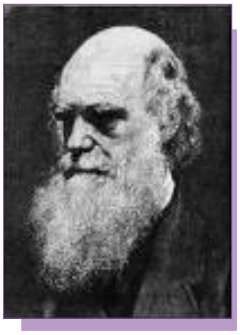
III. Казуальний період (від середини XIX ст. до середини XX ст.). Для цього періоду характерним став синтез наукових біологічних знань. Першим визначним синтезом наукових знань була теорія Чарльза Дарвіна.

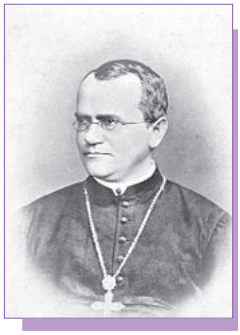
На його працю «Походження видів шляхом природного добору, або збереження сприятливих порід у боротьбі за життя» (1859 р.) справили значний вплив теорії Жана Ламарка (1744 – 1829) — основоположника першої еволюційної гіпотези, Жоржа Бюффона, Томаса Мальтуса. Чарльз Дарвін сформулював поняття про природний добір, який він вважав основним фактором, що впливав на еволюцію. Згідно із цією теорією, завдяки

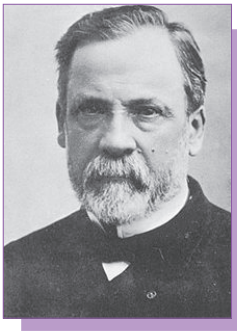
природному добору мали виживати найбільш пристосовані особини, а еволюція набувала характеру адаптації.

У 1838 р. спираючись на безліч досліджень про клітини,Маттіас Шлейден і Теодор Шванн сформулювали клітинну теорію — основоположну теорію для загальної біології, що стала підґрунтям для розуміння закономірностей живого світу та розвитку еволюційного вчення. Рудольф Вірхов у 1858 р. доповнив її найважливішим положенням (будь-яка клітина походить від клітини). Грегор Мендель (1822 – 1884) відкрив основні закони спадковості. Луї Пастер (1822 – 1895) провів серію дослідів, під час яких виявив, що мікроорганізми живляться, дихають, виділяють, реагують на зміни навколишнього середовища, розмножуються, тобто експериментально довів їхню нездатність виникати нізвідки. У 1892 р. Дмитро Івановський відкрив віруси — неклітинну форму живого. На початку XX ст., з розвитком таких галузей біології, як молекулярна біологія, генетика, почали приділяти увагу глобальнішим питанням, зокрема екології.

Жан Ламарк


Чарльз Дарвін


Луї Пастер


Георг Мендель

IV. Реконструктивний період — сучасна біологія (від середини XX ст. до сьогодення).

Для сучасного періоду розвитку біології характерним є проникнення в біологічний наносвіт і розкриття суті життєвих процесів на різних рівнях організації живих систем.

ГЕОГРАФІЯ ДО Й ПІСЛЯ КОЛУМБА

Географія — одна з найдавніших наук. Першою людиною, що використала слово «географія», був Ератосфен (276 – 194 до н. е.). Географія виникла як опис географічної оболонки Землі, її структури та динаміки, взаємодії та розповсюдження в просторі окремих компонентів. Кілька тисячоліть тривало становлення фізичної географії й формування підвалин класичної географічної науки. За час існування людської цивілізації її дослідники склали чималий перелік географічних фізичних дисциплін, які створюють поняття «Науки про Землю» (біогеографія, кліматологія та метеорологія, берегознавство, екологічний менеджмент, геодезія, геомор-

фологія, гляціологія, гідрологія та гідрографія, ландшафтна екологія, океанографія, ґрунтознавство, палеографія). Система фізичної географії включає також картографію, хоча інколи її окремо виділяють як окрему географічну дисципліну. Водночас поодинокі дослідники намагалися поєднувати суспільні процеси з компонентами географічного середовища. У такий спосіб починали зароджуватися нові напрямки географічних досліджень, які, починаючи з XX сторіччя, набули сучасних рис (географія культури, географія розвитку, економічна географія, медична географія, історична географія та географія часу, політична географія та геополітика, географія населення, або демографія, географія релігії, соціальна географія, транспортна географія, туристична географія, країнознавство, геоурбаністика).

Пізнання природи Землі розпочалося з появою людини. З-поміж географічних ідей стародавнього світу, успадкованих сучасною географією, особливе значення мають погляди вчених античності. У Стародавній Греції близько 500 р. до н. е. було вперше висловлено ідею про кулястість Землі (Парменід). Аристотель (IV ст. до н. е.) навів перші достовірні докази на користь цієї ідеї: кругла форма земної тіні під час місячних затемнень і зміна вигляду зоряного неба під час пересування з півночі на південь. Близько 165 р. до н. е. грецький учений Кратес із Малла виготовив першу модель земної кулі — глобус. Аристарх Самоський (III ст. до н. е.) уперше наближено визначив відстань від Землі до Сонця. Він першим почав навчати, що Земля обертається навколо Сонця й навколо власної осі (геліоцентрична модель світу).

Поняття про географічну (кліматичну) зональність, засноване безпосередньо на ідеї кулястості Землі, також бере свій початок в античній географії (Евдокс із Кніда, 400 – 347 до н. е.). Посідоній (II – I ст. до н. е.) виділив 9 географічних поясів (ми в даний час виділяємо 13 поясів).

Ідея змін земної поверхні також належить до найдавніших досягнень античної думки (Геракліт, 530 — 470 до н. е.), тим часом як боротьба за неї закінчилася тільки через два з половиною тисячоліття, на початку XIX ст. н. е.

Птоломеєві «Настанови з географії» — це перелік кількох тисяч пунктів із зазначенням їхньої широти й довготи. На основі описаних Клавдієм Птолемеєм способів побудови картографічних проекцій було складено найбільш досконалу карту стародавнього світу, яку неодноразово видавали в середні віки.

Саме тоді почав стрімко розширюватися просторовий географічний кругозір, що привело до значних територіальних відкриттів у різних куточках земної кулі.

Купець Марко Поло у XIII ст. відкрив шлях до Індії й Китаю, Васко да Гама в 1497 – 1498 рр. обігнув Африку, Христофор Колумб у 1492 р. відкрив Америку, Фернан Магеллан здійснив першу навколосвітню подорож у 1519 – 1521 рр. Уже в XVI ст. стало відомо, що існує єдиний Світовий океан, що водна поверхня займає більшу площу, ніж суходіл. У процесі вивчення Землі мандрівники складали географічні карти.

У багатьох країнах Європи (Великобританії, Німеччини, Росії) створювали географічні товариства, метою яких було надати всім експедиціям та дослідженням науковий характер і популяризувати географічні дослідження. Це були громадські організації, до складу яких входили відомі мореплавці, дослідники, громадські діячі, письменники.

Початок XX ст. ознаменувався освоєнням полярних широт і відкриттям Північного й Південного полюсів. Кілька разів американські (Джорж Де Лонг), норвезькі (Фрітьоф Нансен, Рауль Амундсен), російські (наш співвітчизник Георгій Сєдов) дослідники намагалися досягти Північного полюса. Лише в 1909 р., з восьмої спроби, це вдалося зробити американському морському офіцерові Роберту Пірі. Він першим досяг точки Північного полюса.

Упродовж тривалого часу існували різні гіпотези стосовно віку Землі. Михайло Ломоносов казав, що Землі близько 75 000 років, Вільям Томсон припускав, що Земля набагато старша — від 20 до 400 мільйонів років. І щодалі розвивалася наука, то сміливішими ставали ці припущення. Урешті-решт на початку XX ст. Ернест Резерфорд разом зі своїм учнем Фредериком Содді відкрили закон радіоактивного розпаду, що дав змогу досить точно визначити вік Землі й різноманітних скам'янілостей і копалин. Приблизний вік Землі становить близько 4,5 мільярдів років.

На початку минулого століття німецький метеоролог Альфред Вегенер, а потім й інші вчені почали усвідомлювати, що материки Землі не стоять на місці, а повільно дрейфують. Тектоніка літосферних плит — сучасна геологічна теорія, згідно з якою літосфера розділена на великі плити, які рухаються в горизонтальному напрямку.

Географію на сучасному етапі поділено на низку природничо-географічних і суспільно-географічних наук, тісно пов'язаних між собою, а спільними їхніми завданнями є всебічне дослідження природно-територіальних і виробничо-територіальних комплексів.

ХІМІЯ ДО І ПІСЛЯ МЕНДЕЛЄЄВА

В історії хімії можна виокремити кілька основних етапів її розвитку.

У доалхімічному періоді теоретичні й практичні знання про речовину розвивалися відносно незалежно одні від одних. Властивості речовини розглядала антична натурфілософія, практичні операції з речовинами були справою ремісничої хімії.

Трипільська культура (археологічна культура доби енеоліту та початку бронзового віку (близько 5400–2750 до н. е.) — культура мальованої кераміки

Мідні інструменти використовували ще в Стародавньому Єгипті під час зведення пірамід

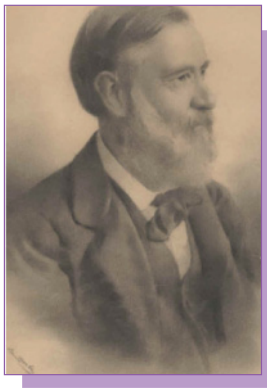
В алхімічний період зародилася експериментальна хімія, почалося накопичення знань про речовини. Це був час пошуків магічного філософського каменю, що, на думку алхіміків, потрібен для перетворення неблагородних металів на благородні, передусім — золото й срібло. Алхімічна

теорія, заснована на античних філософських уявленнях про елементи, тісно переплелася з астрологією та містикою. Проте це не завадило алхімікам набути унікального досвіду в техніці хімічного експерименту, створити нові прилади й відкрити багато нових речовин.

Марія Пророчиця — перша алхімікиня, імовірно жила в III ст. н. е.; можлива засновниця Олександрійської алхімічної школи, винахідниця низки хімічних апаратів і процесів, які використовують і донині

На картині Джозефа Райта зображено відкриття білого фосфору в 1669 р. німецьким алхіміком Хенінгом Брандом

Період кількісних законів, що був ознаменований відкриттям головних кількісних закономірностей хімії — стехіометричних[1] законів і формуванням атомно-молекулярної теорії, остаточно завершив перетворення хімії на точну науку, засновану не лише на спостереженні, а й на вимірюванні.



Джон Дальтон
(Англія, 1766 – 1844)

Амедео Авогадро
(Італія, 1776 – 1856)

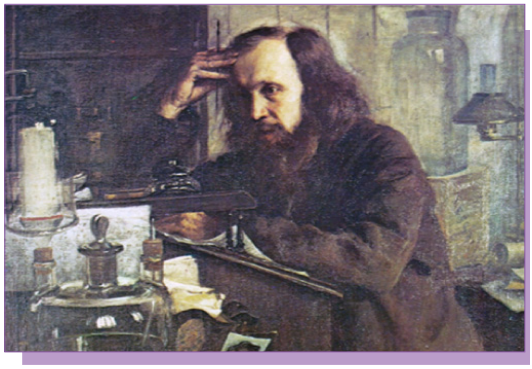
Станіслао Каніццаро
(Італія, 1826 – 1910)

Наукові праці цих учених сприяли перетворенню хімії на точну науку

[1] *Стехіометрія* — співвідношення кількостей елементів і сполук, які беруть участь у хімічній реакції (співвідношення між кількостями речовин, що реагують між собою в окремій хімічній реакції, та кількостями продуктів, які утворюються), в основі якого лежать закон збереження маси та закон сталості складу.

Для періоду класичної хімії характерним був стрімкий розвиток науки: розроблено теорію валентності й хімічної будови молекул (1861), відкрито (1869) Періодичну систему хімічних елементів і періодичний закон.

Олександр Бутлеров (Російська імперія, 1828 – 1886) — основоположник теорії хімічної будови, засновник наукової школи хіміків-органіків



Дмитро Менделєєв (Російська імперія, 1834 – 1907) — відкривач Періодичного закону хімічних елементів

Наукові ідеї Олександра Бутлерова щодо залежності властивостей органічних речовин від будови їхніх молекул згодом дістали блискуче підтвердження й розвиток завдяки дослідженням, здійсненим багатьма наступними поколіннями хіміків і хімікинь у всьому світі. Періодичний закон хімічних елементів — фундаментальний закон природи. Він став підґрунтям для наукової класифікації хімічних елементів і їхніх сполук. На основі Періодичного закону були розвинуті найважливіші хімічні поняття, установлено чіткий взаємозв'язок між ними. Відкриття періодичного закону мало величезне значення для розвитку хімії та пізнання таємниць природи.

Згодом виникли нові напрямки хімічної науки. Наприклад, стереохімія, яка вивчає просторову будову молекул і вплив цієї будови на фізичні й хімічні властивості речовин, на напрямок і швидкість їхніх реакцій. Хімічна термодинаміка розглядає взаємозв'язки між роботою та енергією щодо хімічних перетворень. Хімічна кінетика вивчає закономірності перебігу хімічних реакцій. Великих успіхів досягли прикладна неорганічна хімія й органічний синтез. Зростання обсягу знань про речовини та їхні властивості зумовило диференціацію хімії на низку самостійних наук.

На початку XX ст. систему знань про матерію, засновану на механіці Ньютона, змінили квантова теорія й теорія відносності. Установлення подільності атома й створення електронних теорій хімічного зв'язку й квантової механіки надали нового змісту основним поняттям хімії: хімічний елемент, атом, йон, молекула, речовина, хімічна реакція тощо. Успіхи фізики на початку XX ст. дали змогу пояснити причини періодичності властивостей елементів і їхніх сполук, природу валентних сил, створити теорію хімічного зв'язку між атомами. Поява принципово нових фізичних методів дослідження та об'єднання зусиль фізиків, хіміків і біологів сприяло народженню в другій половині XX ст. нових наук — молекулярної біології, біологічної хімії.

Дороті Кроуфут Годжкін (Каїр та Велика Британія, 1910 – 1994) — біохімікиня, розробниця рентгеноструктурного аналізу білків. Визначила структури пеніциліну та вітаміну В 12. У 1964 р. отримала Нобелівську премію з хімії за визначення за допомогою рентгенівських променів структур біологічно активних речовин. У 1969 р. також визначила структуру інсуліну

Розалінд Елсі Франклін (Велика Британія, 1920 – 1958) — біофізикиня й кристалографиня, зробила важливий внесок у розуміння структури ДНК, вірусів, вугілля й графіту

Ада Йонат (Ізраїль, нар. 1939), основоположниця кріобіокристалографії, лауреатка Нобелівської премії з хімії за 2009 р. спільно з Венкатраману Рамакрішнаном і Томасом Стейц за дослідження структури й функцій рибосоми

У XXI ст. триває тріумфальна хода хімії. Вона є центральною, фундаментальною наукою. Сучасна хімія — високовпорядкована система знань, що стрімко й цілеспрямовано розвивається у взаємодії із системами знань інших наук. Це дає змогу забезпечити потреби людства в їжі, лікарських засобах, засобах гігієни, комунікації, новітніх матеріалах тощо.

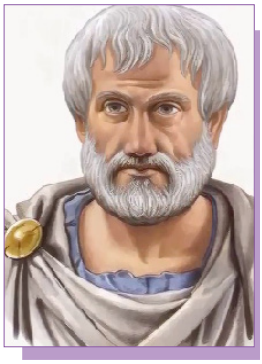
ФІЗИКА ВІД АРИСТОТЕЛЯ ДО ЕЙНШТЕЙНА

Найвидатнішим із стародавніх мислителів був Аристотель (384 – 322 до н. е.), який і запровадив слово «*фюзіс*», що в перекладі з грецької означає *природа*. Але не подумайте, що «Фізика» Аристотеля хоч якось схожа на сучасні підручники з фізики. Ні! У ній ви не знайдете жодного опису досліду чи приладу, жодного малюнка чи креслення, жодної формули. У ній — філософські міркування про речі, про час, про рух взагалі. Такими були всі праці вчених-мислителів античного періоду.

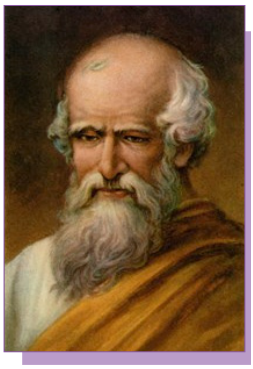
Від старогрецького філософа Фалеса (624 – 547 до н. е.) беруть початок наші знання з електрики й магнетизму. Демокріт (460 – 370 до н. е.) є основоположником вчення про будову речовини, саме він припустив, що всі тіла складаються з найдрібніших частинок — атомів. Евкліду (III ст. до н. е.) належать важливі дослідження в галузі оптики — він уперше сформулював основні закони геометричної оптики (закон прямолінійного поширення світла й закон відбивання), описав дію плоских і сферичних дзеркал.

Серед видатних учених та винахідників стародавнього світу чільне місце посідає Архімед (287 – 212 до н. е.). Його праці «Про рівновагу площин», «Про тіла, що плавають», «Про важелі» заклали основи таких

розділів фізики, як механіка, гідростатика. Яскравий інженерний талант Архімед виявив у сконструйованих ним механічних пристроях.



Аристотель



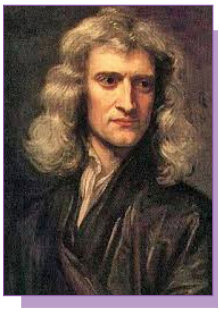
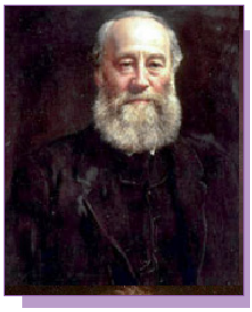
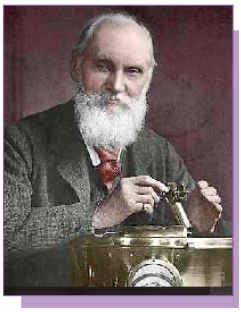
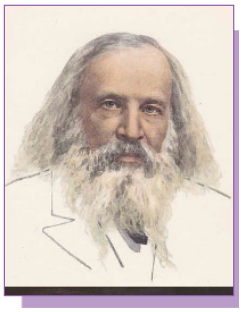
Учені античності:
Архімед Демокріт

Із середини XVI ст. настав якісно новий етап розвитку фізики — у ній починають застосовувати експерименти й досліди. Одним з перших, відомих з історії, є дослід Галілео Галілея: кидання ядра та кулі з Пізанської вежі. Саме цей дослід вважають «днем народження» фізики як експериментальної науки.

Потужним поштовхом до формування фізики як науки стали наукові праці Ісака Ньютона. У «Математичних началах натуральної філософії» (1684 р.) він розробив математичний апарат для пояснення й опису фізичних явищ. На сформульованих ним законах було побудовано так звану класичну (ньютонівську) механіку.

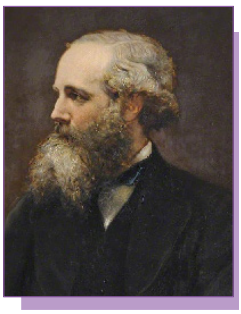
Швидкий прогрес у вивченні природи, відкриття нових явищ і законів природи сприяли розвитку суспільства. З кінця XVIII ст. розвиток фізики зумовлює бурхливий розвиток техніки. У цей час було винайдено й удосконалено парові машини. У зв'язку із широким використанням їх у виробництві та на транспорті цей період часу називають «віком пари». Одночасно науковці поглиблено вивчали теплові процеси, у фізиці було виокремлено новий розділ — термодинаміку. Найбільший унесок у дослідження теплових явищ належить Саді Карно, Рудольфу Клаузіусу, Джеймсу Джоулю, Дмитру Менделєєву та іншим.

Безліч нових відкриттів було зроблено й у галузі електрики та магнетизму (закон Кулона, закон Ампера, закон Ома, закон електромагнітної індукції тощо). Визначальними для цього періоду стали дослідження Майкла Фарадея, Емілія Ленца та Джеймса Максвелла, які сприяли розробленню так званої класичної електродинаміки, що пояснювала властивості електромагнітних полів, електромагнітну природу світла. Наприкінці XIX й на початку XX ст. було створено й удосконалено електричні машини. Завдяки широкому використанню електричної енергії цей час назвали «віком електрики». У фізиці було виокремлено нові розділи — електродинаміку, електротехніку, радіотехніку тощо.

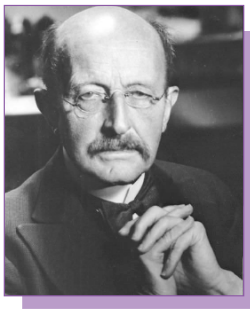
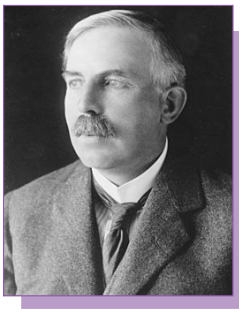
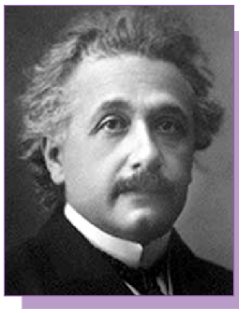
Класики фізичної науки XVII — XIX ст.:

І. Ньютон | Д. Джоуль | В. Томсон (лорд Кельвін) | Д. І. Менделєєв



А. Ампер | Г. Ом | М. Фарадей | Дж. Максвелл

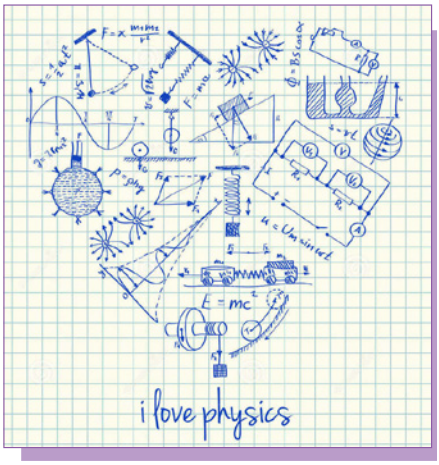
На початку XX ст. фізики отримали численні експериментальні результати, які не можна було узгодити з положеннями класичної механіки й електродинаміки. У фізиці було започатковано новий етап розвитку — створення квантової та релятивістської теорій. Визначальними для їхнього становлення були праці Макса Планка, Нільса Бора, Альберта Ейнштейна. Квантово-релятивістська фізика є найзагальнішою універсальною формою сучасного тлумачення закономірностей навколишнього світу. Але з її появою класична фізика не зникла, — було визначено межі, у яких вона діє.

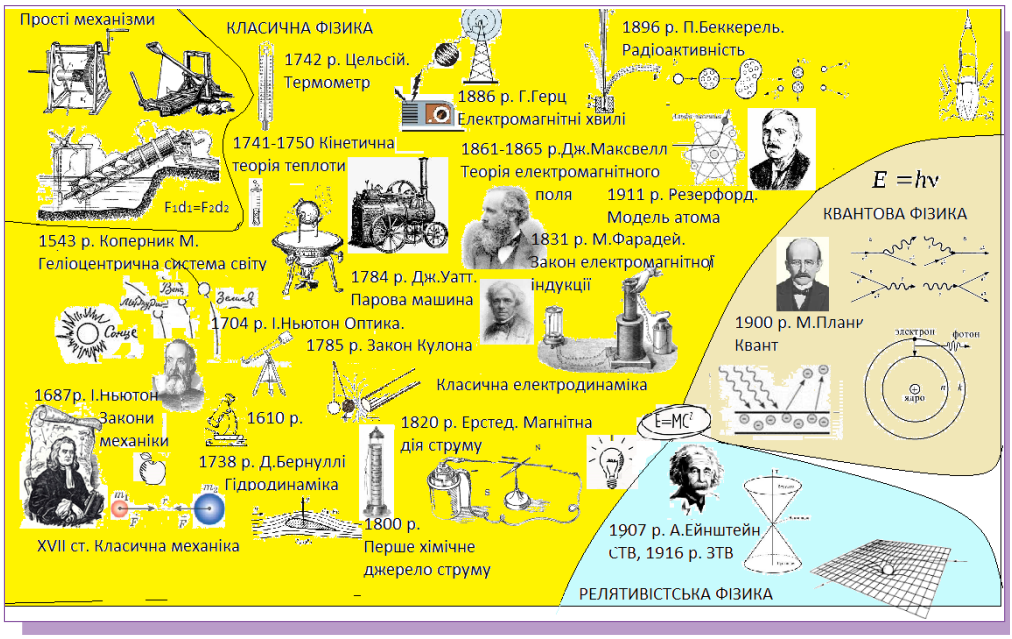
Учені XIX ст., що зробили внесок у становлення сучасної фізики:

М. Склодовська-Кюрі | М. Планк | Е. Резерфорд | А. Ейнштейн

Особливо бурхливого технологічного розвитку суспільство зазнало з другої половини XX ст. Люди навчилися добувати й широко застосовувати ядерну енергію, освоювати космічний простір, конструювати нові автоматизовані пристрої й механізми. XX ст. називають «атомним віком», «віком космічної ери». У фізиці інтенсивно досліджували атомне ядро, плазму, керовані термоядерні реакції, напівпровідники тощо. Було виокремлено такі галузі фізики, як фізика низьких температур, фізика рідкого стану, фізика плазми, фізика твердого тіла та інші.



Для початку XXI ст. знаковим став величезний прорив у галузі інформаційних технологій, супутникового зв'язку, нанотехнологій. Але про яку б галузь техніки й технологій не йшлося, в її основі лежать закони фізики.



ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Назвіть найважливіші природознавчі ідеї та відкриття, що змінили уявлення про світ і вплинули на розвиток цивілізації.
2. Кому ж ми маємо бути вдячними за ті комфортні умови, у яких зараз живе сучасне людство?
3. Продуктом науки є не тільки знання. У чому ж іще полягає цінність науки?
4. Чи існують традиції в науці та яка їхня роль? Що таке наукова революція? Що спільного й що відмінного в наукових і соціальних революціях?

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

1. Робота із синхроністичною таблицею. (За матеріалами: «Синхроністична таблиця як засіб інтегрування знань з природничих предметів» (автори: Величко Л. П., Козленко О. Г., Малієнко Ю. Б., Мельник Ю. С., Надтока О. Ф.) *http://lib.iitta.gov.ua/705168/1/Bio_him_6_2016_Velychko_tabl.pdf*
2. Обговоріть проблему моральності в науці. Наведіть приклади складних з погляду загальнолюдської моральності ситуацій, що є проблематичними щодо ухвалення рішень про застосування тих або інших наукових відкриттів на практиці.
3. Складіть повідомлення про: 10-топ відкриттів XVI ст. (XVII ст., XVIII ст., XIX ст., XX ст., XXI ст.); 22 винаходи українців, що відомі в усьому світі; жінок, які назавжди змінили світову науку.
4. Проведіть класифікацію й складіть схему відомих вам експериментальних і теоретичних методів наукового пізнання. Які з них ви вважаєте фундаментальними. Чому?

ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Визначні природничі дослідження й відкриття українських учнів і учениць.
- «Великі відкриття» (упорядкування хронологічної шкали (таблиці); створення ментальної карти; фотоальбому тощо).
- Нобелівські лауреати.
- Українські вчені.
- Технології майбутнього.
- Історія одного відкриття.
- Найгірші винаходи XX століття.

ВСТУП

А. 3. НАУКА Й СВІТОГЛЯД

Як розумна істота, людина має свій світогляд — думки, погляди, ідеї, ставлення, почуття, емоції, переконання. Що формує світогляд людини? Наука? Життєвий досвід? Мистецтво? Медіа? Духовне життя? Релігія?

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Виявляти й *обґрунтовувати* взаємозв'язки між розвитком науки й суспільства.

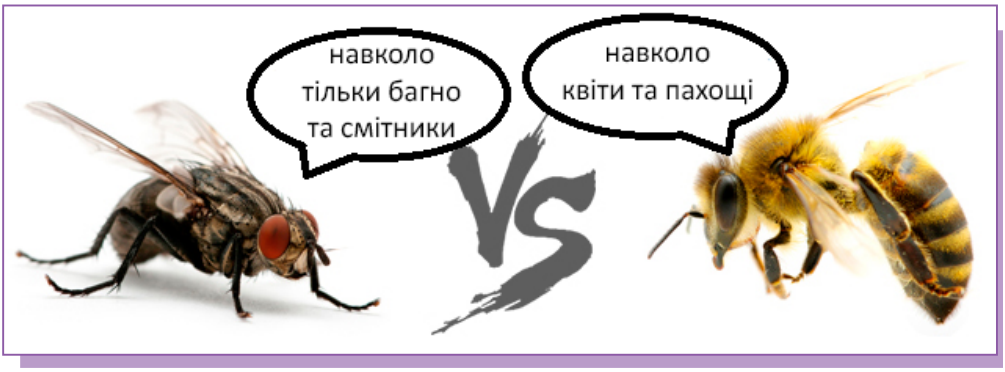
Усвідомлювати значення природничих наук у формуванні світогляду.

Розвивати вміння користуватися різними джерелами природничо-наукової інформації, критично оцінюючи її достовірність.

Висловлювати й *обґрунтовувати* судження щодо взаємозв'язків людини й природи

«МИ» — ЛЮДИ І «ВІН» — СВІТ

Різні люди часто сприймають одні й ті самі речі зовсім по-різному. Погляд на світ — світогляд — це складна й суперечлива єдність знань, ідеалів, мрій, цілей, сподівань, інтересів, бажань, надій, вірувань, переконань, емоцій, почуттів, поглядів на сенс і мету життя, які визначають аспекти мислення, поведінку та діяльність кожної людини. Світогляд може формуватися протягом життя як стихійно, так і свідомо. Якісь його елементи виникають на основі нашого повсякденного досвіду, того, із чим ми стикаємося щодня. Якісь елементи світогляду формуються усвідомлено, у результаті цілеспрямованої роботи над собою, своїми уявленнями й знаннями.



Відповідно виокремлюють різні види світогляду. Наприклад, залежно від провідної ідеї виділяють: теоцентризм (у центрі ідея Бога), антропоцентризм (ідея людини), природоцентризм, наукоцентризм тощо; залежно від ставлення до прогресу — прогресивний і реакційний. Проте людині притаманно одночасно мати різні світоглядні позиції. Так, ми можемо в цілому дотримуватися наукової картини світу для пояснення природних явищ й орієнтуватися на повсякденний досвід у побутових ситуаціях.

За компонентами світогляду можна скласти враження про те, наскільки складним і суперечливим є ставлення до світу людини, яка намагається поєднати знання, почуття, цінності, вчинки, власні риси характеру.

Компоненти світогляду	Характерні риси	Види та форми
Знання	Коло відомостей про навколишній світ, необхідних людині для успішної орієнтації в ньому	• Наукові • Професійні • Практичні
Почуття (емоції)	Суб'єктивна реакція людини на зовнішні подразники, яку вона виявляє в різних психологічних станах	• Позитивні (радість, задоволення, щастя й ін.) • Негативні (сум, горе, страх, невпевненість й ін.) • Моральні (сором, образа, відповідальність й ін.)

Компоненти світогляду	Характерні риси	Види та форми
Цінності	Особистісне ставлення людини до того, що відбувається навколо. Їх сприймають крізь призму власних цілей, потреб, інтересів і розуміння сенсу життя	• Значущі — ступінь інтенсивності ставлення до чого-небудь (щось зачіпає більше, інше менше) • Корисні — практична необхідність (засоби з добуття благ, у тому числі знань, умінь і навичок) • Шкідливі — негативне ставлення до чого-небудь (забруднення довкілля, насилля та ін.)
Вчинки	Поведінкове виявлення особистісних поглядів та ідей	• Позитивні, що приносять користь і породжують добре ставлення осіб навколо (допомога, благодійність, порятунок та ін.) • Негативні, шкідливі, що спричинюють страждання й негативізм (військові дії, насилля та ін.)
Переконання	Особисті чи суспільні погляди, які інші люди приймають беззаперечно або в результаті сумнівів. Це єдність знань і волі. Сутність життя для особливо переконаних людей. Фанатичне прийняття чужих поглядів переходить у догматизм, повне заперечення їх — у нігілізм, перехід від однієї крайності до іншої переростає в скептицизм	• Істинні, які не піддають сумнівам • Вольові — здатні надихнути, підняти на боротьбу
Характер	Набір особистих якостей, що сприяють формуванню та розвитку світогляду	• Воля — здатність до самостійних усвідомлених дій (постановка мети, її досягнення, планування, вибір засобів тощо) • Віра — ступінь практичного усвідомлення самого/самої себе (упевненість/невпевненість) і себе стосовно інших людей (довіра, довірливість) • Сумнів — самокритичність залежно від будь-яких знань або цінностей

Як бачимо, першим компонентом світогляду є знання, які є колом відомостей про навколишній світ, необхідних людині для успішної орієнтації в ньому. Кожна людина в процесі свого життя отримує величезну кількість інформації про світ і про себе. Елементарні побутові знання мають бути засвоєними дітьми ще в ранньому віці. Наукові знання суттєво відрізняються від побутових. Вони передбачають не лише констатацію

фактів та їх опис, а й пояснення фактів, усвідомлення їх відповідно до всієї системи понять певної науки. Побутове, просте пізнання констатує, хоча й дуже поверхово, як відбувається та чи інша подія. Наукове — дає відповідь не лише на питання «як?», а й на питання «чому?». Сутність наукового світогляду людини в тому, що за випадковим можна розрізнити закономірне, за одиничним — загальне, за минулим передбачити майбутнє. Основою наукових знань є певні закономірності, які й дають змогу об'єднувати відповідні знання в систему.

Розгляньте малюнок. Як ви вважаєте, що є спільним для цих зображень? Здогадалися? Так, термін «картина». Картина — як твір малярства; художня картина — рідковживаний синонім кінофільму; наукова картина світу — особлива форма систематизації знань, якісне узагальнення й світоглядний синтез різних наукових теорій; мовна картина — концептуалізація світу, уміщена в мові. (Ще можна було б додати й такі визначення картини: 1. Про кого- чи що-небудь, що своїм виглядом викликає захоплення. 2. Словесне, мистецьке зображення чого-небудь у літературі тощо. 3. Епізод, частина акту вистави, що потребує окремої декорації.) Ми зупинимося на науковій картині світу (при нагоді ви можете дослідити, які унікальні особливості мають кінофільм «Тіні забутих предків» і картина «Спаситель світу»).

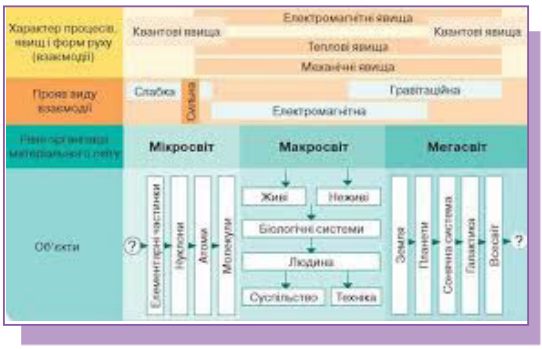


Рисунок 1.
Картина світу та її формування, мовне фіксування і зберігання

Наукова картина світу — система уявлень людей про властивості й закономірності дійсності (*світу, що реально існує*), побудована в результаті узагальнення та синтезу наукових понять і принципів. Будучи цілісною системою уявлень про загальні властивості й закономірності об'єктивного

світу, наукова картина світу існує як складна структура, складниками якої є як загальнонаукова картина світу, так і картини світу окремих наук (*фізична картина світу, біологічна картина світу, геологічна картина світу*). Картини світу окремих наук, у свою чергу, містять відповідні численні концепції — певні способи розуміння й трактування будь-яких предметів, явищ і процесів об'єктивного світу, що існують у кожній окремій науці.

НАУКА Й МЕДІА

«Еврика!» Цей вигук став відомим завдяки давньогрецькому філософу Архімеду. Припускають, що він вигукнув «Еврика! Еврика!» після того, як занурився у ванну та звернув увагу, що рівень води підвищився. Після цього він раптом зрозумів, що об'єм витісненої ним води має дорівнювати об'єму частини тіла, яку він занурив у воду. Можна вважати, що таким було перше повідомлення про наукове відкриття.

Першим науковим журналом вважають німецький журнал Acta eruditorum, який почали публікувати в Лейпцизі в 1682 році. Наукові журнали здебільшого публікують у паперовому вигляді. Проте останнім часом деякі журнали виходять винятково в електронному форматі й доступні лише в мережі Інтернет.

Окрім наукової публікації й повідомлення в медіа, підтвердженням про наукове відкриття або винахід є патент.

Тепер про наукові відкриття можна прочитати не лише в наукових журналах. Стрічки новин у ЗМІ та соціальних мережах наповненні різного роду інформацією зі світу науки.

І, як не дивно, відомості про пласку Землю, наближення надзвичайної події — появу на небі двох Місяців, або про те, що унікальний засіб для волосся склеїть кінчики за два тижні, сучасні люди сприймають («лайкають» у соціальних мережах) й охоче поширюють, навіть не замислившися, чи правдива ця інформація! Навчитися відрізняти, чи є повідомлення правдивим і науковим, чи це лише рекламний трюк — нове завдання, яке стоїть перед вами. Це потрібно для того, щоб шарлатани, псевдонауковці не скористалися нагодою маніпулювати вами. А перед науковцями постає нове завдання — популяризувати науку: доступно й цікаво розповідати про сучасні наукові знання. Улюбленими для багатьох стали телевізійні канали Discovery, Наука, телевізійні наукові шоу, наукові пікніки, музеї

У комунікації медіа (англ. *media* — засоби, способи) — це канали та інструменти; їх використовують, щоб зберігати, передавати й подавати інформацію або дані.

ВікіпедіЯ
Вільна енциклопедія

Перший патент в Україні

Патент на винахід № 1 був виданий Державним патентним відомством України 30 листопада 1992 року. Цей патент охороняв спосіб отримання антифрикційного матеріалу для поверхонь тертя. Власником патенту став Микола Костянтинович Ященко.

12 листопада 2012 року Державною службою інтелектуальної власності України до відповідного державного реєстру внесено стотисячний патент України на винахід «Спосіб підвищення ефективності хіміотерапії резистентних до хіміотерапії злоякісних пухлин»

наук, вуличні обсерваторії тощо. Бажання знати, пізнавати й розуміти — було, є й залишиться унікальною особливістю людини!

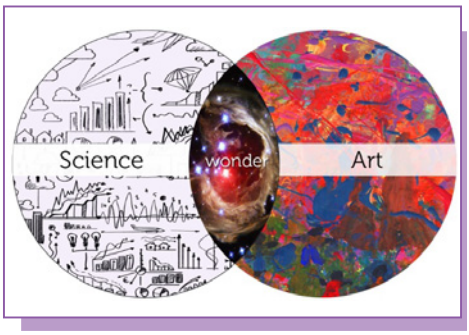
НАУКА Й МИСТЕЦТВО

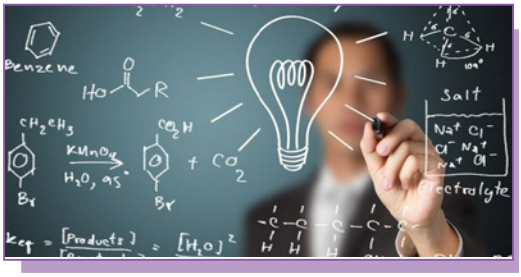
Світ природи може бути предметом уваги не тільки вченого-природничника, а й письменника, художника, фотографа та й взагалі будь-якої людини. Але професійний інтерес ученого-природничника відрізняється від погляду простого глядача.

Так само як і погляд митця, який намагається через твори мистецтв, що описують природу, вплинути на духовний світ людини. Наука й мистецтво мають одну мету — пізнання світу. Тільки наука відкриває світ навколо нас, а мистецтво — усередині нас. Наука пояснює світ мовою категорій, абстрактних понять, законів і теорій. Мистецтво це робить за допомогою мови мистецтва, відображенням світу в художніх образах. Знання, здобуте мистецтвом, людина осягає чуттєво-емоційнийно, що не потребує професійного досвіду. Два способи освоєння людиною світу взаємопов'язані, взаємодіють і «сперечаються» один з одним протягом усієї історії: від фактичного ототожнення їх до абсолютного протиставлення.

Але в цілому взаємовідносини науки й мистецтва є взаємовигідними.

Об'єктами мистецьких творів є сучасний технологічний світ. Сучасні технології породжують нові напрямки в мистецтві, натомість науковці додають креативності до наукових винаходів.





НАУКА Й ТЕХНОЛОГІЇ

Усе те, чим відрізняється сучасне суспільство від суспільства минулих сторіч, виникло в результаті застосування на практиці наукових відкриттів. Розвиток наук приніс не лише фундаментальні зміни в уявлення про матеріальний світ. Він зумовив прогресивні зміни в суспільстві. Технології використання імплантатів, зір як новий інтерфейс, кишеньковий суперкомп'ютер — це технології, що вже стають реальністю. Чи здатні нанотехнології та робототехніка змінити уявлення людства про майбутнє? Нанотехнології тепер уже допомогли створити нові фізичні матеріали — наприклад, квантові точки, які є революційними електронними пристроями. Люди створюють ефективніші комп'ютери та телевізори з високою роздільною здатністю екрана. А матеріал «графен» можна використовувати для створення різноманітних речей — від найлегших протезів до надпровідного дроту.

Сучасна робототехніка — це не тільки робот, що акуратно прибирає підлогу в квартирі. Це безпілотники й наземні роботи, що незамінні у військовій галузі й у мирному житті (наприклад, безпілотні кур'єри). Ваше майбутнє буде пов'язано з новими відкриттями, що змінюють світ.

Завдяки розвитку науки люди на планеті Земля стали ближче — адже перебувають в єдиному інформаційному просторі. Тепер уже не здається, що земля нескінченно велика й на її поверхні й у її надрах можна робити все, що заманеться. Необдумані дії людини, озброєної досягненнями науки й техніки призводять до безповоротних і часто руйнівних наслідків для природи й самої людини.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Чим відрізняється наукове знання від інших видів знання?
2. Як відображають світ наука й мистецтво?
3. Наведіть приклади взаємного впливу науки й мистецтва в наші дні.
4. Наведіть приклади взаємозв'язків науки з іншими суспільними й виробничими сферами: наука та спорт, наука й релігія, наука й туризм, наука й медицина, наука та сільське господарство тощо.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

1. Робота з текстами науково-популярного стилю. На основі аналізу тексту визначте його логічну структуру. Запропонуйте форми роботи з цим текстом для його засвоєння, запам'ятовування, використання як цікавого, незвичного матеріалу у вашій подальшій навчальній діяльності, у дискусіях, виступах.
2. Уявіть, що в учених минулих століть були свої профілі в соціальних мережах. Якими були б їхні стрічки новин?
3. Аналіз сайтів.

Джерела:

1. Антон Сененко. Блог [Електронний ресурс]. URL: h*ttps://site.ua/anton.senenko.*
2. Екологія життя [Електронний ресурс]. URL: *http://www.eco-live.com.ua.*
3. Ми і всесвіт [Електронний ресурс]. URL: *http://vsenebo.blogspot.com.*

4. Моя наука [Електронний ресурс]. URL: *http://my.science.ua*.
5. Пізнавайка [Електронний ресурс]. URL: *http://www.poznavayka.org/uk.*
6. Цікава наука [Електронний ресурс]. URL: *http://my.science.ua/directory/tsikava-nauka.*
7. Станіславський натураліст [Електронний ресурс]. URL: *http://www.naturalist.if.ua.*
8. Цікаве зі світу науки [Електронний ресурс]. URL: *http://cikave.org.ua.*
9. Alpha Centauri [Електронний ресурс]. URL: *http://www.thealphacentauri.net.*
10. Epigenetics [Електронний ресурс]. URL: *http://www.epigenetics.com.ua.*
11. Historians [Електронний ресурс]. URL: *http://historians.in.ua.*
12. Science-ua [Електронний ресурс]. URL: *http://science-ua.info.*
13. Science Ukraine [Електронний ресурс]. URL: *http://scienceukraine.in.ua.*

4. Написання есе.

ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Природа — джерело творчого натхнення діячів мистецтв.
- Фантастика, що стала реальністю (за аналізом художніх творів, кінофільмів).

ВСЕСВІТ

За якими подіями останнім часом спостерігає весь світ? За показом моди? Євробаченням? Фіналом Ліги чемпіонів? Самітом Великої сімки? Так, кожна з подій має своє коло зацікавлених спостерігачів, шанувальників, експертів. А яка подія привертає увагу всіх людей на планеті незалежно від віку, професії, національності? Здогадалися? Це космічні відкриття! Тепер, на початку третього тисячоліття, ми відчуваємо певне затишшя в царині наукових відкриттів, порівняно з тим, яким насиченим ними було XX ст. Людство за два тисячоліття дослідило таємниці третьої від Сонця планети та її найближчого оточення в Сонячній системі й має обґрунтовані теорії існування Всесвіту. Проте невгамовне людське бажання пізнати таємниці Всесвіту спонукає до розвитку науки, техніки та технологій. І не лише наукоємні, а й суспільно-гуманітарні й культурні сфери життя розвиваються завдяки науці. Космічній тематиці присвячено наукові шоу на телебаченні, науково-фантастичні фільми, науково-популярні книги, відкритті лекції. Космос стає ближчим завдяки «вуличним обсерваторіям», віртуальним комп'ютерним базам. І не виключено, що незабаром запитання «Коли наступний потяг до Альфа Центавра?» стане реальністю.

Але перед тим з'ясуймо, що відомо людству про Всесвіт, його минуле, сучасне та майбутнє.

У РОЗДІЛІ «ВСЕСВІТ» ВИКОРИСТАНО ДЖЕРЕЛА:

- *Daleki-Zori.com.ua*
- *http://www.astrosvit.in.ua/*
- *https://scienceukraine.com*
- *http://www.astroosvita.kiev.ua/infoteka/articles/astro_uspix.pdf*

Б. 1. ВЕЛИКИЙ ВИБУХ

Про Великий Вибух, який став початком зародження Всесвіту, вам доводилося хоч раз у своєму житті чути. А хто зможе описати, які події відбулися за першу секунду? Першу хвилину? Першу тисячу років? Перший мільярд років? І чому нас називають «зоряним пилом»?

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Називати гіпотези утворення Всесвіту; науковців, дослідження яких сприяли становленню теорії Великого Вибуху.

Описувати етапи становлення теорії Великого Вибуху.

Розуміти значення теоретичних розробок і даних спостережень, що підтверджують теорію Великого Вибуху.

Пояснювати основи теорії Великого Вибуху.

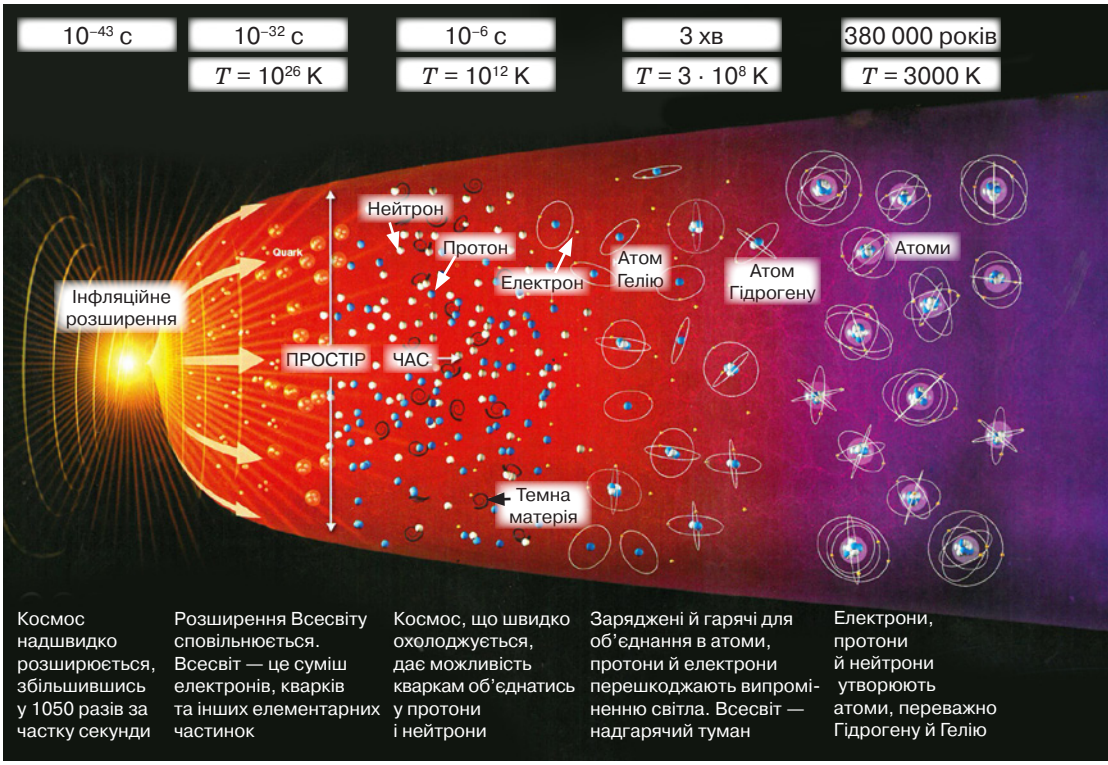
Оцінювати значення науки в пізнанні світу; масштаби Всесвіту

З ЧОГО ВСЕ ПОЧАЛОСЯ?

Майже чотирнадцять мільярдів років минуло від початку зародження Всесвіту. Нам не відомо, що було до цього і як виникла найдрібніша частка Всесвіту, розмір якої менший за одну трильйонну крапки в кінці цього речення. І що змусило цю частку загадково розширятися з утворенням нашого Всесвіту. Саме так, — з утворенням. Бо не було нічого — ані простору, ані часу. Але ми знаємо (або вважаємо, що знаємо), що відбувалося далі.

Дуже гарячий «зародок» Всесвіту почав розширюватися так миттєво, що це навіть уявити собі неможливо. Те, що було єдиним, стало утворювати чотири окремі сили (фундаментальні взаємодії), які нам відомі: слабку, сильну, електромагнітну й гравітаційну. За цих обставин у дуже гарячому Всесвіті виникли перші частинки та античастинки: протони й антипротони, нейтрони й антинейтрони. Особливістю взаємодії частинки й античастинки (цей процес називають анігіляцією) є те, що внаслідок їх зіткнення відбувається «знищення» частинок та утворення кванта випромінювання (фотона — частинки світла). Та якби цих частинок було порівну, то чи утворилися б об'єкти Всесвіту? Саме тому, що частинок було приблизно на одну мільярдну частку більше, ніж античастинок, «залишок» їх став будівельним матеріалом для світу речовини — галактик, зір, планет тощо.

Від початку Всесвіту минула одна десятитисячна частка секунди. Температура Всесвіту тоді становила 10^{12} К.

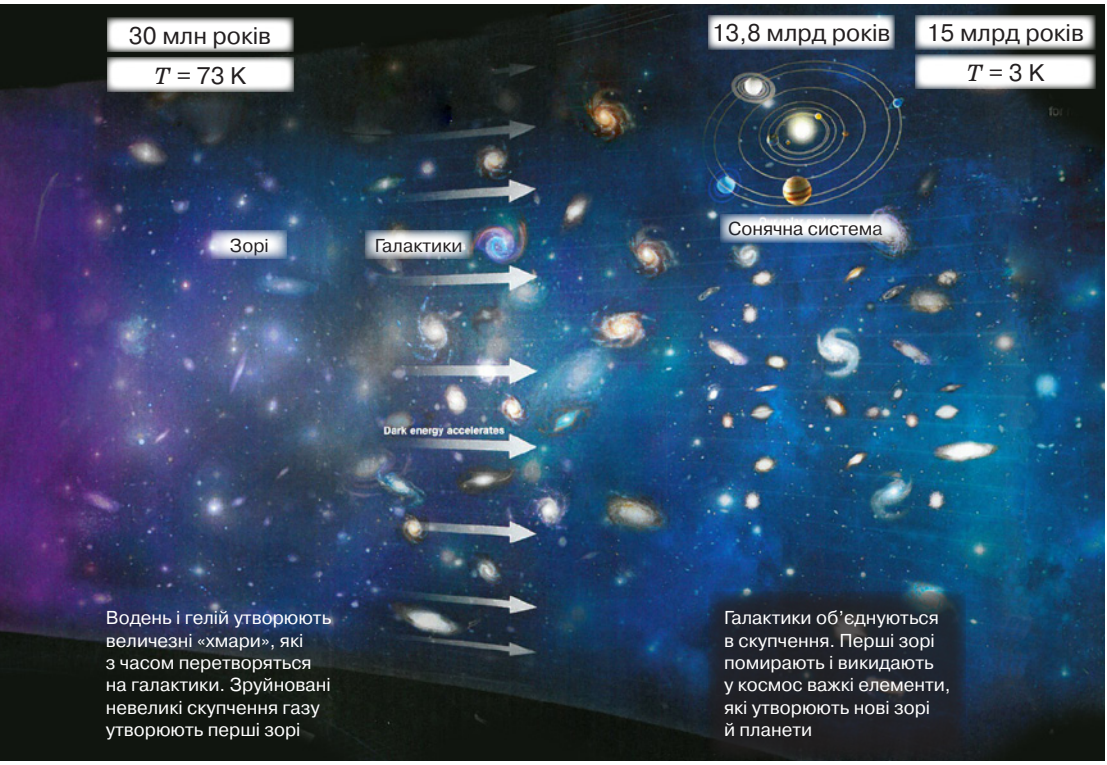


Надзвичайно швидке розширення Всесвіту веде до того, що він продовжує стрімко охолоджуватися. Через 1 с від початку розширення, температура Всесвіту — 10^{10} К, через 3 с — уже $3 \cdot 10^9$ К, а через 3 хв за температури $3 \cdot 10^8$ К почалося утворення ядер перших хімічних елементів — Гідрогену, Дейтерію, Гелію, Літію.

У наступні 380 000 років помітних змін не відбувалося. Увесь цей час у Всесвіті електрони, протони, ядра Гелію й у значно меншій кількості — ядра Літію, з яких складалася первісна плазма, безперервно поглинали, випромінювали й розсіювали фотони, не давали їм поширюватися вільно.

Та врешті-решт під час подальшого розширювання, Всесвіт охолов до температури близько 3000 К (приблизно половини нинішньої температури поверхні Сонця). Усі вільні електрони «пристають» до ядер — утворюються атоми. Енергії фотонів уже не вистачало, щоб розбивати щойно утворені нейтральні атоми Гідрогену та Гелію, тож світло почало вільно поширюватися у Всесвіті, бо практично не взаємодіяло з речовиною.

У наступні мільйони років Всесвіт продовжував розширюватися й охолоджуватися, а гравітація збирала матерію в масивні згустки — протогалактики, у яких так само, приблизно через мільярд років від початку Всесвіту, почали утворюватися перші зорі. У їхніх ядрах відбувалися реакції термоядерного синтезу. У надрах надвеликих зір температура й тиск були достатніми для утворення десятків хімічних елементів, важчих за Гідроген, — зокрема й таких, з яких згодом утворяться планети й різноманітні форми життя, які змогли на них існувати.



Ці елементи не прислужилися б подальшій еволюції Всесвіту, якби вони навіки залишалися в надрах зір. Проте масивним зорям властива здатність спалахувати потужними вибухами, що розсіюють ці важкі елементи. Після дев'яти мільярдів років, в одній нічим не примітній частині Всесвіту (околиці Надскупчення Діви), в одній нічим не примітній галактиці (Чумацький шлях), в одному нічим не примітному регіоні (рукав Оріона) народилася нічим не примітна зоря (Сонце), навколо якої було достатньо важких елементів, щоб з них почали утворюватися планети.

Планета, яку ми називаємо Землею, сформувалася на такій відстані від Сонця, що вода в океанах може залишатися здебільшого в рідкому стані. Це дало змогу зародитися життю. У товщі багатих на хімічні сполуки океанічних вод молекули органічних речовин під дією механізму (точні деталі якого ще досі не з'ясовано) перейшли до самовідтворювального життя. Домінували в цьому первісному «бульйоні» прості анаеробні бактерії — форма життя, що процвітає в позбавлених кисню середовищах та виділяє хімічно активний кисень як один з побічних продуктів своєї життєдіяльності. Ці ранні одноклітинні організми мимоволі перетворювали атмосферу, багату карбонIV оксидом (вуглекислим газом CO_2), на атмосферу з таким вмістом кисню, якого достатньо, щоб аеробні організми могли виникнути та панувати над океанами й суходолом. Ці самі атоми Оксигену, що зазвичай трапляються сполученими попарно (молекули кисню O_2), об'єднувалися також по троє. Із цих молекул (O_3) утворився озоновий шар. Він є щитом, який захищає поверхню Землі від більшості ультрафіолетового випромінювання Сонця, що є руйнівним для молекул багатьох складних речовин.

З мільярдів видів істот, які існували на Землі від початку зародження життя, як припускають науковці, уже зникли понад 99,99 % видів. У середньому існування певного біологічного виду на Землі триває лише близько чотирьох мільйонів років. Тож попри все маєте радіти, що з'явилися на світ. Безперечно, це диво, тому що атоми, які так охоче й добровільно скупчуються, аби створювати живих істот на Землі, — точнісінько такі самі, як і атоми, що не здатні до цього деінде. Як би там не було, а на хімічному рівні життя на диво прозаїчне: Карбон, Гідроген, Оксиген і Нітроген, трохи Кальцію, дрібка Сульфуру, ледь припорошені іншими, не менш прозаїчними елементами... От і все, що потрібно. Єдина особливість атомів, з яких складаєтеся ви, — те, що з них складаєтеся саме ви, унікальна й непересічна особистість!

І як усе добре склалося для нас! Якби Всесвіт формувався хоч трішки інакше, гравітація була сильнішою чи слабкішою, або розширення відбувалося б швидше або повільніше, — тоді, можливо, не було б і стійких елементів, з яких ми з вами створені. Не було б і Землі — чудової планети, на якій ми мешкаємо.

ЯК НАУКОВЦІ ПРО ЦЕ ДІЗНАЛИСЯ?

Хоча всі називають народження Всесвіту Великим Вибухом (англ. BIG BANG), та це не було вибухом у звичному сенсі. Це, радше, було раптове розширення величезного масштабу. Та що було причиною цього?

Одне з припущень полягає в тому, що наш Всесвіт утворився з попереднього, який зазнав колапсу (стиснувся до мінімуму). Такі процеси відбуваються десь і донині: є всесвіти, що розширюються й стискаються. Наш Всесвіт — лише один із багатьох.

Інші пояснюють Великий Вибух так званим «помилковим вакуумом», або «вакуумною енергією», — певною властивістю, або чимось, що змогло порушити стабільність небуття. До цього часу не відкинуто ідею щодо божественної участі в народженні Всесвіту. 22 листопада 1951 року Папа Римський Пій XII оголосив, що теорія Великого Вибуху не суперечить католицьким уявленням про створення світу.

Теорія Великого Вибуху — це не про сам вибух, а про те, що сталося після нього. Перші етапи розвитку Всесвіту ще називають ерами, хоча це нам може видатися дивним, оскільки ми частіше вживаємо термін «ера» для якогось великого інтервалу часу. Ери Великого Вибуху — це час від часток секунди до мільярдів років (див. таблицю 1.1).

Таблиця 1.1

Ера Всесвіту	Вік Всесвіту	Фази еволюції	Температура, К	Густина, кг/м^3
Речовини	$1{,}5 \cdot 10^{10}$ років	Сучасна епоха	2,7	10^{-27}
	$1{,}2 \cdot 10^{10}$ років	Виникнення життя на Землі		
	10^{10} років	Формування Сонячної системи		
	$6 \cdot 10^{9}$ років	Утворення перших зір		
	$5 \cdot 10^{9}$ років	Утворення нашої Галактики		10^{-26}
	10^{9} років	Квазари		
	$3 \cdot 10^{8}$ років	Поява хмар водню та гелію		
	10^{8} років	Утворюються атоми Гідрогену та Гелію		10^{-13}
	$3 \cdot 10^{5}$ років	Формування речовини. Всесвіт стає нейтральним і темним	3	10^{-10}
Випромінювання	300 с	Кінець ери випромінювання	10	
	10 с	Утворюються ядра дейтерію та гелію	10^{4}	10^{16}
Лептонна	10^{-4} с	Електрони й позитрони в стані теплової рівноваги з випромінюванням	10^{10}	

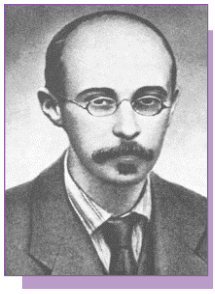
Ера Всесвіту	Вік Всесвіту	Фази еволюції	Температура, К	Густина, кг/м^3
Адронна	10^{-7} с	Розділення електромагнітної та слабкої взаємодії	10^{15}	
	10^{-10} с	Утворення нейтронів і протонів	10^{27}	
	10^{-32} с	Відділення сильної взаємодії		
	10^{-43} с	Відділення сил гравітації	10^{32}	10^{95}
Сингулярність	0	Усі чотири фундаментальні сили об'єднано в єдину. Розміри Всесвіту наближуються до нуля		

Ідея Великого Вибуху, що пояснює розвиток Всесвіту, виникла лише в XX ст., після низки відкриттів, зроблених фізиками. До того часу науковці вважали, що Всесвіт існував вічно, і що він є незмінним і стабільним, еволюціонують у ньому лише космічні об'єкти (зорі, планети, галактики).

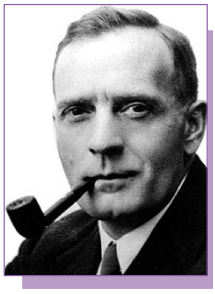
За найбільш карколомні ідеї фізики XX ст. маємо дякувати Альбертові Ейнштейну (1879 – 1955). Цей учений не працював у лабораторіях, не робив дослідів на складному обладнанні. Адже був *теоретиком*. Його лабораторією була власна уява. Він уявно моделював ситуацію, робив припущення, прогнозував й обґрунтовував результати уявного експерименту. (*Про бібліографічні факти життя видатного фізика, його доробок можете підготувати повідомлення. Ще можна історично реконструювати той час: з'ясувати, хто ще працював одночасно з ним, які наукові суперечки точилися між науковцями того часу.*)

Тож 1916 р. 37-річний Альберт Ейнштейн оприлюднив власну загальну теорію відносності, у якій увів поняття простір-час, математично описав, як усе у Всесвіті рухається під впливом гравітації. Та все ж у теорії трапилася одна з найцікавіших помилок в історії науки. На той час загальноприйнятою була версія щодо «стаціонарного Всесвіту», що не зазнає розвитку, а просто існує. І, щоб урівноважити силу тяжіння, яка прагне стягнути всю масу Всесвіту воєдино, Ейнштейн увів до рівняння тяжіння відповідну безрозмірну сталу.

(1879 — 1955)
А. Ейнштейн
1916 р.
Загальна теорія відносності



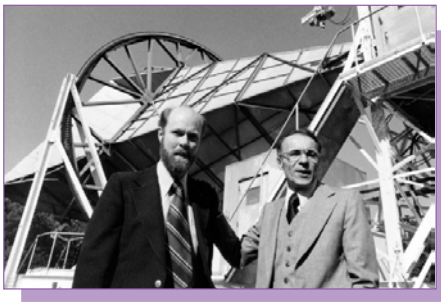
(1888 — 1925)
О. Фрідман
1922 р.
Всесвіт має або розширюватися, або стискатися



(1889 — 1953)
Е. П. Габбл
1926 р. Факт розбігання галактик
(1929 р. Закон розбігання галактик)

(1894 — 1966)
Ж. Леметр
1927 р.
Теорія розширення Всесвіту

(1904 — 1968)
Гамов Джордж
(Георгій Антонович)
1940 р.
Передбачення існування реліктового випромінювання



Роберт Вілсон Арно Пензіас
1964 р.
Відкриття космічного мікрохвильового фонового (реліктового) випромінювання

Алан Ґут
1979 р.
Ідея космічної інфляції

У 1922 р. російський фізик Олександр Фрідман математично довів, що рівняння тяжіння, запропоноване Альбертом Ейнштейном, має цікавий варіант розв'язку, у якому стала дорівнює нулю. У цьому разі розвиток Всесвіту стає залежним від початкового значення густини речовини, а Всесвіт, заповнений масою, на яку діє сила тяжіння, не може бути статичним. Він має або розширюватися, або стискатися.

Однак математичні обрахунки ще треба було перевірити на практиці, виконавши астрономічні спостереження. І ці спостереження не забарилися. У 1926 р. Едвін Габбл виявив факт розбігання галактик.

Ще раз прочитайте речення: «У 1926 р. Едвін Габбл виявив факт розбігання галактик». Отакої: просто подивився на небо й побачив, як «розбігаються галактики». Щоб виявити таке явище, потрібно володіти достатнім арсеналом наукових знань, уміти користуватися експериментальними даними й бути фахівцем своєї справи. Саме Едвін Габбл досліджував галактики: він вимірював відстані до них, класифікував їх (ми далі розглянемо, у який спосіб це робиться). А факт віддалення галактик вдалося зафіксувати на підставі ефекту, описано австрійським фізиком й астрономом Крістіаном Доплером у 1842 р. Якщо джерело звуку наближається до спостерігача, то довжина хвилі буде сприйматися спостерігачем меншою, ніж є насправді (звук буде здаватися вищим, і-і-і-і), і навпаки — при віддаленні джерела звуку спостерігач сприйматиме довжину хвилі більшою (звук буде здаватися нижчим, приглушеним, е-е-е-е-). Таке ж явище спостерігається і для електромагнітних хвиль — світла, що є основним джерелом інформації про далекі космічні об'єкти. Випромінювання небесних тіл фіксують у вигляді спектра, що являє собою картину з кольорових ліній. Якщо об'єкт рухається відносно спостерігача, то спектральні лінії відповідно зсуваються. При наближенні зсув відбувається в синю (короткохвильову) частину спектра, а при відділенні — у червону (довгохвильову). Зсув ліній у червоний бік (зумовлений віддаленням об'єкта) називається «червоним зсувом»

Спостереження Едвіна Габбла спонукали Жоржа Леметра в 1927 р. якраз і запропонувати теорію розширення Всесвіту. До речі, назву «великий вибух» теорії дав у виступі на радіо її противник Фред Гойл: «*big bang*»

означає англійською мовою радше «великий бах» — саме так Гойл зневажливо схарактеризував гіпотезу Леметра. Однак вислів набув усталеності та втратив початкове негативне забарвлення.

У 1929 р. Едвін Габбл уже математично вивів закон, за яким розбігаються галактики.

У 1948 р. одесит, а згодом американський фізик-теоретик й астрофізик Джорж (Георгій) Гамов припустив, що утворені під час періоду анігіляції фотони існують й донині, утворюючи космічний фон. Часто його називають реліктовим випромінюванням, оскільки воно справді є реліктом ранньої епохи розвитку Всесвіту.

Коли в 1965 р. американські радіоастрономи Арно Пензіас і Роберт Вілсон зареєстрували реліктове випромінювання, це стало одним з доказів на користь теорії Великого Вибуху.

У 1979 р. американський вчений Алан Ґут удосконалив теорію Великого Вибуху, увівши поняття інфляції для пояснення стрімкого розширення Всесвіту на самому початку.

Математичні розрахунки, дослідження у прискорювачах елементарних частинок, що проводяться сьогодні, підтверджують загальну теорію відносності Ейнштейна та теорію Великого Вибуху.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Наведіть гіпотези утворення Всесвіту.
2. Що на вашу думку означає вислів «Ми — зоряний пил»?
3. Ключем до пізнання минулого Всесвіту є, передусім, вивчення його сучасного стану. Обґрунтуйте це твердження.
4. У чому полягає суть ефекту Доплера?

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Моделювання розширення Всесвіту.

Всесвіт розширюється, але відносно чого? Чи є центр, відносно якого відбувається розширення? Чи може бути так, що від Землі розбігаються зорі й галактики? І від далекої Проксима Центавра теж розбігаються?

Давайте перевіримо.

Покажіть, що швидкість, з якою збільшується відстань між двома точками, які лежать у межах невеликої сферичної ділянки, пропорційна початковій відстані між ними.

ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Дослідження ефекту Доплера на автомобілях із включеною сиреною.

Б. 2. МІКРО-, МАКРО- і МЕГАСВІТИ

Як далеко може бачити людина? На 100 метрів? На 1 кілометр? Чи може людина бачити об'єкти, віддалені на мільярди кілометрів? Які найбільші й найменші об'єкти може дослідити людина?

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Класифікувати об'єкти, що належать до мікро-, макро- й мегасвітів; рівні організації живої природи.

Описувати особливості досліджень об'єктів мікро-, макро- й мегасвітів.

Порівнювати об'єкти мікро-, макро- й мегасвітів за розмірами та масами.

Усвідомлювати єдність різноманіття об'єктів природи.

Оцінювати значення науки в пізнанні світу; масштаби Всесвіту

ВІД МЕГА- ДО МІКРО

Пригадуєте Алісу з Країни Чудес? «Що за чудеса! — вигукнула Аліса. — Я складаюсь, наче далекоглядна труба!». Щоб побачити, що відбувається за маленькими дверцятами, Аліса випила чарівну рідину й зменшилася.

А ми, навпаки, подумки збільшуватимемо або зменшуватимемо простір, щоб побачити, що діється в мікро- й мегакосмосі!

Для наочності візьмемо сферу радіусом 10 см. Таким є, наприклад, розмір яблука. І почнемо поетапно збільшувати, а потім зменшувати її в мільярд ($1\,000\,000\,000 = 1 \cdot 10^9$) разів.

Збільшивши сферу радіусом 10 см у мільярд разів, ми отримаємо сферу радіусом 100 000 км. Із чим можна порівняти таку відстань? Вона становить близько чверті відстані від Землі до Місяця. Усе, що має розміри такого порядку, належить до макросвіту.

Зробивши збільшення вже цієї сфери в мільярд разів, ми дістанемо сферу радіусом 10^{14} км. Це вже астрономічні розміри. В астрономії для зручності вимірювання відстаней використовують *світловий рік* — позасистемну одиницю довжини, що дорівнює відстані, яку долає світло за рік.

Якщо порахувати, то

1 св. р. = 300 000 км/с · · 3600 с · 24 год · 365,25 діб = = 9 467 280 000 000 км ≈ 10^{13} км.

Відповідно: світлова секунда — відстань, яку проходить світло за 1 секунду,

1 світлова секунда ≈ 300 000 км;

світлова хвилина — відстань, яку проходить світло за 1 хвилину,

1 світлова хвилина ≈ 18 000 000 км.

Можете порахувати, яку відстань світло проходить за добу, 10 діб, місяць, півроку, 10 років, 100 років, 1000 років тощо.

Обчисліть, за який проміжок часу досягає Землі світло Сонця, якщо відстань між Сонцем і Землею — 149 600 000 км.

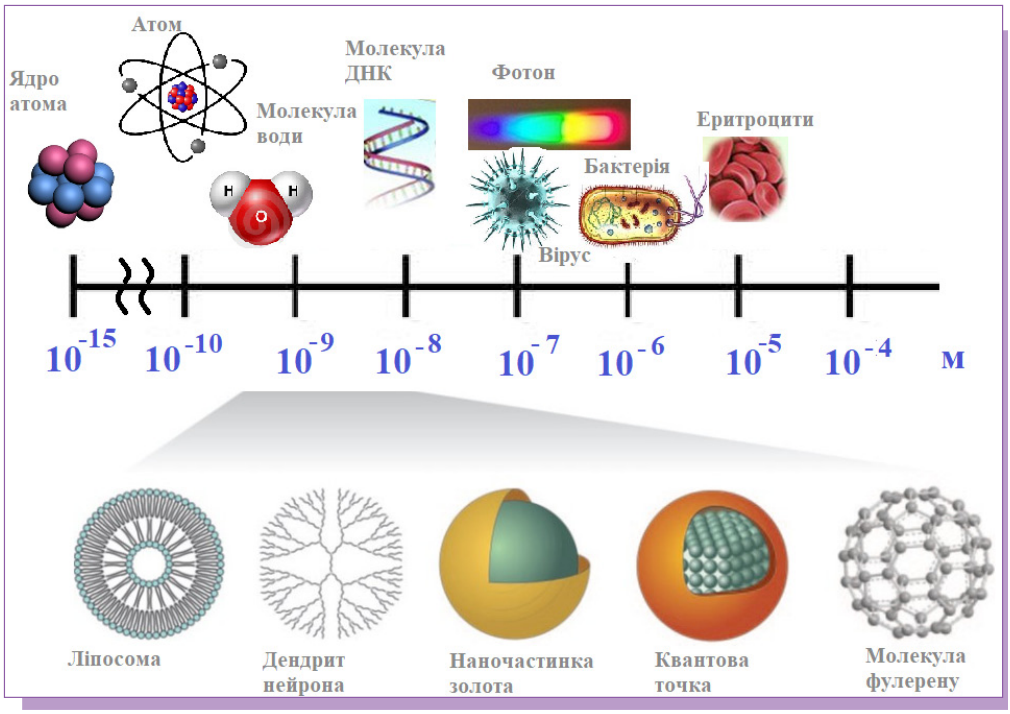
Отже, радіус утвореної цього разу сфери становитиме 10 св. років. Цей радіус більший за відстань від Землі до Сонця в 700 разів! Відстань до найближчої до нас зорі Проксима Центавра дорівнює приблизно 4 св. роки. Тобто радіус гіпотетично утвореної сфери у 2,5 раза перевищує відстань до найближчої зорі.

Звісно ж, відстань у 10 св. років належить уже до мегасвіту. Проте це ближній і досить добре вивчений нами космос. Ми чимало знаємо про найближчі до нас зорі: достатньо точно виміряно відстані до них та температуру їхньої поверхні. Також визначено їхній склад, розміри та масу. Навколо деяких зір виявлено планети (їх називають екзопланетами, на яких, до речі, учені сподіваються виявити життя!). Ці відомості отримано в результаті вивчення спектрів випромінювання цих зір (*докладніше про це ви дізнаєтеся згодом*).

Зробивши чергове збільшення в мільярд разів, дістанемо сферу радіусом 10 млрд св. років. Саме на такій відстані від нас перебувають найвіддаленіші об'єкти, які ми можемо спостерігати. Тобто йдеться про сферу, у якій перебувають усі спостережувані нами об'єкти Всесвіту. Зазначимо, що це — дуже яскраві світила, набагато яскравіші за Сонце.

Загальноприйнята гіпотеза стверджує, що ми взагалі не можемо спостерігати об'єкти, віддалені від нас на відстані понад 13 млрд св. років. Цей факт пов'язаний з тим, що наш Всесвіт народився 13 млрд років тому, тож світло від більш віддалених об'єктів ще не дійшло до нас. Тобто ми дісталися меж мегасвіту.

Тепер рухатимемося вглиб мікросвіту. Зменшивши сферу радіусом 10 см у мільярд разів, дістанемо сферу радіусом 10^{-8} см = 10^{-10} м = 0,1 нм. Виявляється, це характерний для мікросвіту масштаб. Розміри такого порядку мають атоми й молекули простих речовин. Мікросвіт такого масштабу досить добре вивчено (мал. 2.1). Відкрито закони, що описують взаємодії атомів і молекул, якісь принципово нові закони в цьому світі навряд чи відкриють. Мало того, науковці навчилися маніпулювати окремими атомами й молекулами. Ідеться про нанотехнології, які оперують процесами на нанорівні. На відмінну від природних об'єктів мікросвіту, об'єкти наносвіту — штучно створенні людиною наноматеріали.

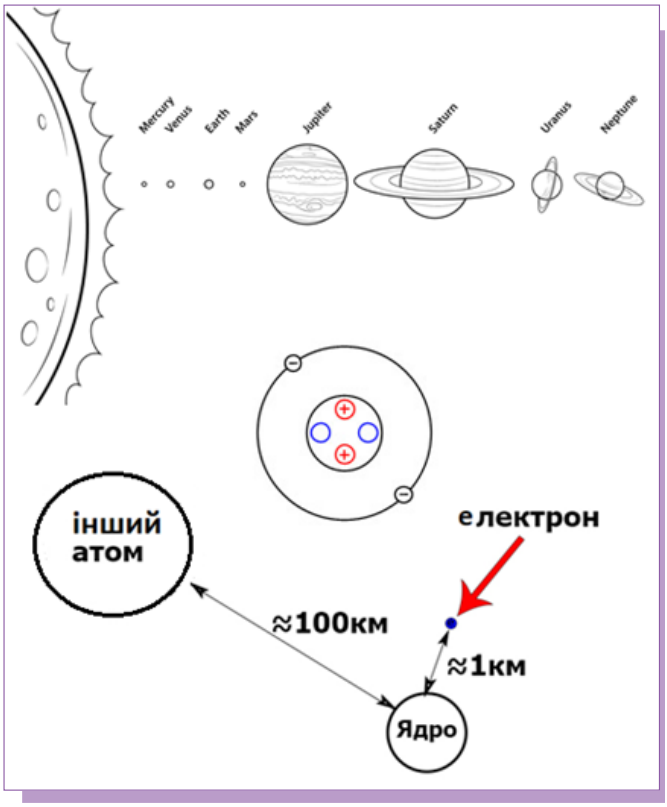


Мал. 2.1. Об'єкти мікросвіту

Звісно, цей світ не є межею пізнання, адже розміри атомних ядер приблизно в 10 000 разів менші.

Зменшивши сферу радіусом 0,1 нм у мільярд разів, дістанемо сферу радіусом 10^{-17} см, або 10^{-19} м. Ми фактично досягли меж пізнання. Річ у тім, що порядок величини найдрібніших частинок речовини — електронів та кварків (*про них буде далі*) — 10^{-16} см, тобто трохи більший за отриману сферу. Що міститься всередині електронів та кварків, тобто чи є вони складними частинками, нині невідомо. Можливо, що розмір 10^{-17} см уже й не відповідає будь-якій реальній структурній одиниці речовини. Закони руху й структуру матерії в масштабах 10^{-15} — 10^{-16} см ще не до кінця вивчено. Сучасні експериментальні можливості не дають змоги ще глибше проникнути до мікросвіту.

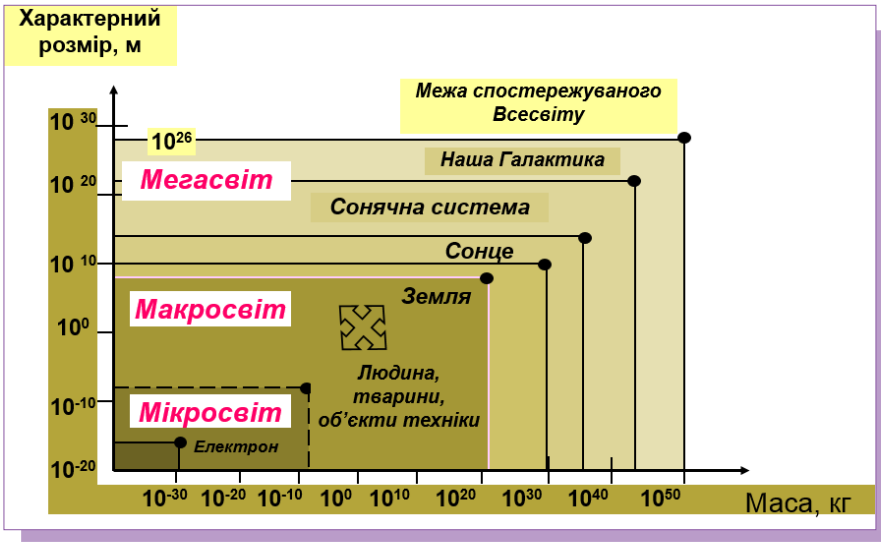
Вам неодноразово доводилося бачити малюнки, на яких зображено Сонячну систему, будову атома (мал. 2.2). Так от, на цих малюнках неможливо дотриматися реальних масштабів!!!



Мал. 2.2. Схематичні малюнки: *а* — Сонячної системи; *б* — будови атома

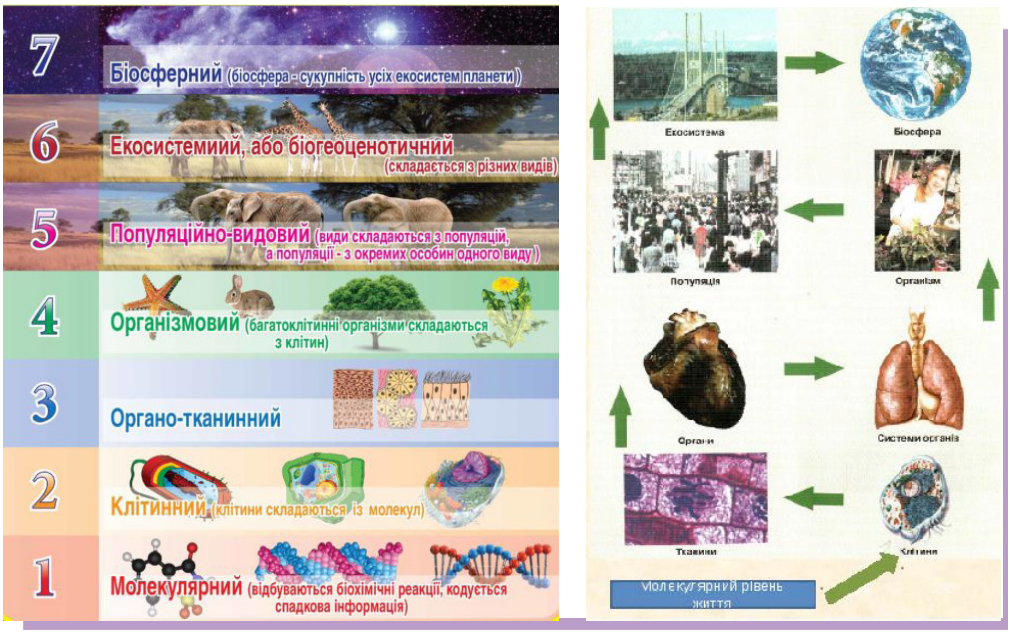
Щоб спробувати уявити реальні відстані в Сонячній системі, удамося до низки міркувань. Уявімо Землю розміром з горошину. Тоді відстань від Землі до Юпітера становитиме 300 метрів, а відстань до Нептуна — понад два кілометри. Навіть якщо ви зменшите Юпітер до розмірів крапки в кінці цього речення, Нептун усе одно перебуватиме на відстані понад 10 метрів від Землі. А якщо уявити, що ядро атома має розмір кавуна, то електрон, що має розмір горошини, рухатиметься навколо ядра на відстані близько

кілометра. Тобто атом на 99,9% складається з порожнечі. А проміжок між атомами в наших масштабах становитиме сотні кілометрів!!!



Мал. 2.3. Параметри мікро-, макро- і мегасвітів

Незважаючи на те, що в мікросвіті, у макросвіті та мегасвіті (мал. 2.3) закони природи проявляються по-різному, є й те, що їх об'єднує. Складниками всіх тіл є ті самі протони, нейтрони й електрони. З частинок неживої природи формується багатий світ живої природи зі своєю структурою, своїми світами та царствами (мал. 2.4).



Мал. 2.4. Рівні живої природи

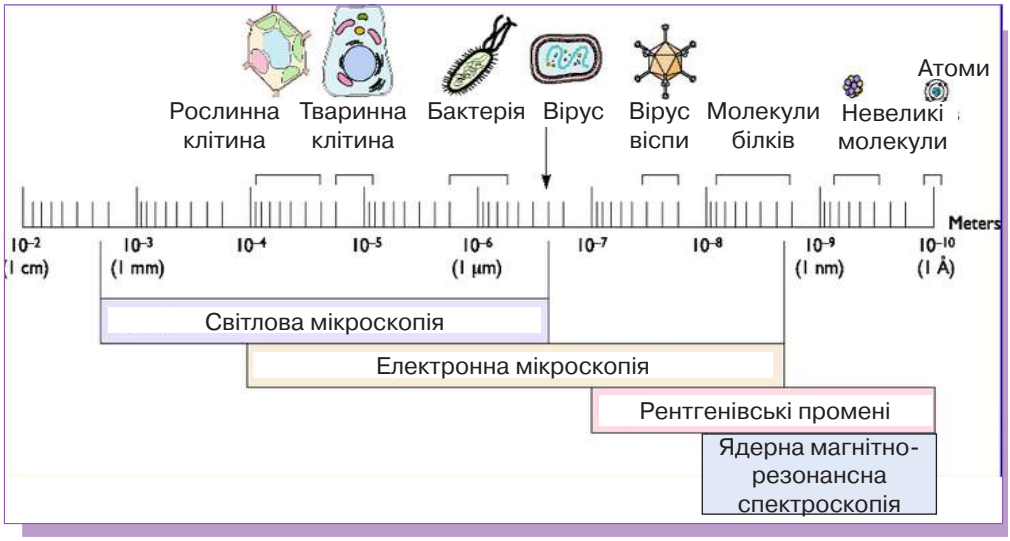
ЯК ВИВЧАЮТЬ МІКРО- І МЕГАСВІТ?

Запитання може видатися простим, — звичайно, за допомогою мікроскопів і телескопів. Так, ці засоби дослідники стали використовувати ще в XVII ст., хоча деякі оптичні властивості вигнутих поверхонь були відомі ще Евкліду (300 р. до н. е.) і Птолемею (127–151), однак їхню збільшувальну здатність не було застосовано практично. (Тож перші окуляри було винайдено Сальвінія діли Арлеаті в Італії лише в 1285 р. У XVI ст. Леонардо да Вінчі та Мауроліко показали, що малі об'єкти краще вивчати за допомогою лупи.) У 1619 р. голландський винахідник Корнеліус Дреббель придумав мікроскоп з опуклими лінзами, а наприкінці століття інший нідерландець — Християн Гюйгенс — презентував свою модель, у якій можна було регулювати окуляри. Більш досконалий пристрій придумав голландський натураліст, основоположник наукової мікроскопії Антоні Ван Левенгук. Він створив прилад з однією великою лінзою. Протягом наступних півтора століття цей прилад забезпечував найвищу якість зображення, тому Левенгука нерідко називають винахідником мікроскопа. Кращі лінзи Левенгука збільшували у 270 разів!

У 1931 р. вчений Роберт Руденберг запатентував новий прилад — електронний мікроскоп, який міг збільшувати предмети за допомогою пучків електронів. Через рік Ернст Руска створив прототип сучасного електронного мікроскопа, за що був у 1986 р. удостоєний Нобелівської премії. Уже наприкінці 1930-х років його винахід почали масово застосовувати в наукових дослідженнях. У той самий час фірма Siemens започаткувала випуск електронних мікроскопів для комерційного використання.

У 1986 р. було винайдено атомно-силовий мікроскоп. За його допомогою одержують зображення вірусів і бактерій, атомів і молекул, вивчають взаємодію двох об'єктів: вимірюють сили тертя, пружності, адгезії, переміщують окремі атоми, осаджують чи видаляють їх з певної поверхні. Японські дослідники перетворили атомний силовий мікроскоп на хірургічний інструмент, за допомогою якого можна прооперувати навіть одну клітину. Вони використали йонний промінь, щоб загострити стандартний силіцієвий наконечник силового мікроскопа й перетворити його на голку 8 мкм завдовжки і 200 нм завтовшки. Після вставляння такої голки в людську ембріональну клітину на стінці клітини утворюється «прокол» діаметром 1 мкм. Мембрана клітини швидко повертається до первісної форми, а голка залишається просунутою в ядро клітини. Нова технологія дає змогу вводити молекули в певні ділянки клітин. Зокрема, ланцюжки ДНК могли би бути вставлені безпосередньо в ядро, щоб перевірити нові методи генної терапії. Також стає можливим контроль над хімічним складом клітин у режимі реального часу.

У 2006 р. групою вчених під керівництвом німецького винахідника Штефана Хелля розроблено наноскоп. Новий пристрій дає змогу спостерігати за об'єктами розміром 10 нм і менше. Крім того, пристрій створює високоякісні тривимірні зображення об'єктів, що раніше було недоступно.

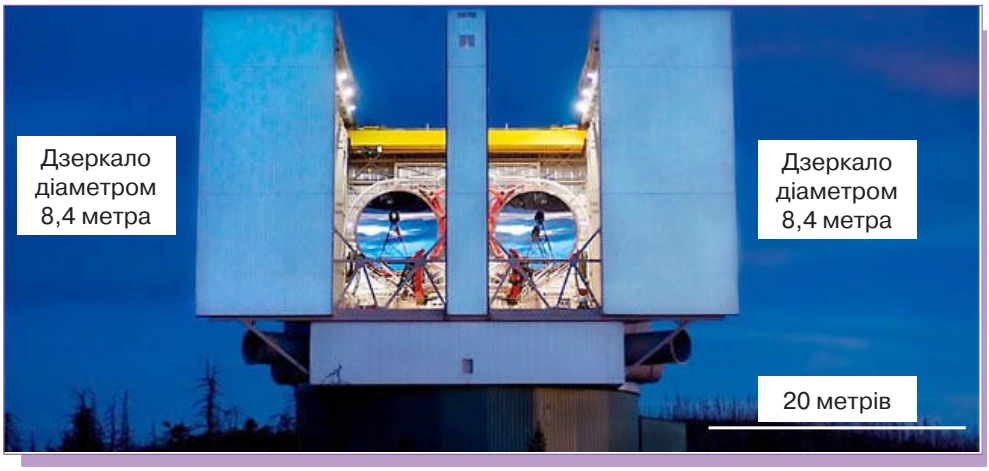


Мал. 2.5. Способи дослідження об'єктів мікросвіту

Однак дослідити властивості найменших об'єктів мікросвіту за допомогою найдосконаліших мікроскопів неможливо. Якими причинами обмежено наш доступ? Аби побачити який-небудь об'єкт у мікроскоп, необхідно його освітити так, щоб частинки світла (фотони) відбивалися й у достатній кількості потрапляли в окуляр і до нас в око. Але молекули й атоми можуть поглинати фотони й згодом випромінювати їх. До того ж, найчастіше, фотони взагалі пролітають повз молекули й атоми, не «помітивши» їх. У який же спосіб удалося «розгледіти» внутрішню структуру атома? — запитаєте ви. І як учені досліджують ядра атомів та складники ядер — протони й нейтрони? Пригадуєте уроки фізики й хімії? Хто й у який спосіб дослідив будову атома? Правильно, британський фізик, лауреат Нобелівської премії з хімії (1908) Ернест Резерфорд. Дослідження частинок такого масштабу відбувається під час їхніх зіткнень і за тими «слідами», які вони залишають. Що дрібніші масштаби досліджують учені, то більшу енергію необхідно надати частинкам, що стикаються. Цю енергію надають їм у спеціально сконструйованих пришвидшувачах, причому, що більшу енергію потрібно надати, то більшими мають бути розміри пришвидшувачів. Розміри сучасних апаратів сягають кількох кілометрів. Для того щоб просунутися ще більше вглиб мікросвіту, потрібні пришвидшувачі розміром із земну кулю.

Перші телескопи також почали використовувати в XVII ст. Сконструйований Галілео Галілеєм телескоп допоміг йому зробити низку астрономічних відкриттів. Пізніше, у 1656 р., Християн Гюйгенс створив телескоп зі стократним збільшенням. Саме такі телескопи зараз вважають аматорськими, їх використовують початківці-астрономи. Ісаак Ньютон

дав нове життя телескопу, використавши дзеркальну систему, яку дотепер використовують у сучасних телескопах.



Мал. 2.6. Великий бінокулярний телескоп, Арізона, США

Нові технології та досягнення науки відкривали нові обрії для вдосконалення наземних телескопів. Уже подолано рубіж телескопів з діаметром дзеркала в 10 м, тож нові телескопи будуть удвічі-утричі більшими. Винайдення фотографії значно розширило можливості астрономічних досліджень.

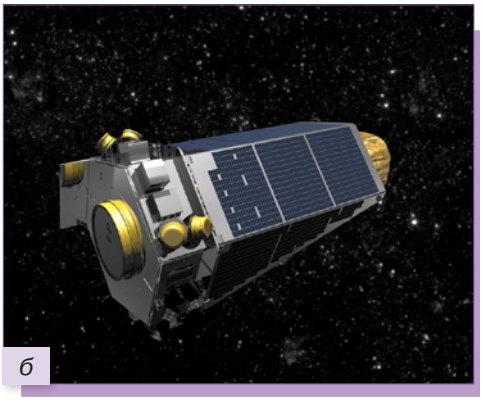
Але не лише завдяки світлу досліджують небесні об'єкти. Як виявилося, вони випромінюють електромагнітні хвилі різних діапазонів. На початку XX ст. в астрономії почали використовувати фотопластинки, чутливі до різних хвиль. Потім було винайдено фотоелектронні помножувачі (ФЕП), електронно-оптичні перетворювачі (ЕОП). У сучасних телескопах як приймачі випромінювання використовують ПЗЗ-матриці.

ПЗЗ-матриці — абревіатура від слів: прилад із зарядовим зв'язком (англ. *Charge-coupled device, CCD*). Це пристрій, у якому під дією випромінювання генерують електричний сигнал, з яким можна проводити певні маніпуляції, наприклад, оцифровувати його.
Прилади використовують також у медицині, де потрібні зображення з високою роздільною здатністю.

Випромінювання від космічних об'єктів фіксують за допомогою радіотелескопів, рентгенівських телескопів та інших пристроїв (мал. 2.7). Нині астрономи здатні робити найнеймовірніші речі. Якби хтось запалив сірника на Місяці, то побачив би цей вогник. За найнезначнішими пульсаціями й коливаннями віддалених зір науковці можуть зробити висновки щодо розмірів, властивостей і навіть потенціальної заселеності планет, надто віддалених, аби їх побачити. Ці планети такі далекі, що нам би довелося летіти в космічному кораблі півмільйона років, аби дістатися їх. Сучасні телескопи здатні вловити таке надзвичайно слабке випромінювання, яке еквівалентне енергії сніжинки, що падає.

Мал. 2.7. «Китайське всевидюче око» — так охрестили новий телескоп «FAST» («Five-hundred-meter Aperture Spherical Radio Telescope», «пятсотметровий сферичний радіотелескоп»)

Після першого запуску космічного апарату дослідження космосу почали проводити не лише із Землі, а й з космосу (мал. 2.8.). Важливою для астрономів подією був запуск 25 квітня 1990 р. на орбіту висотою 612 км космічного телескопа ім. Габбла. Нині в космосі працює низка інфрачервоних, ультрафіолетових, рентгенівських, гамма-обсерваторій, які досліджують небо в усіх діапазонах електромагнітних хвиль.

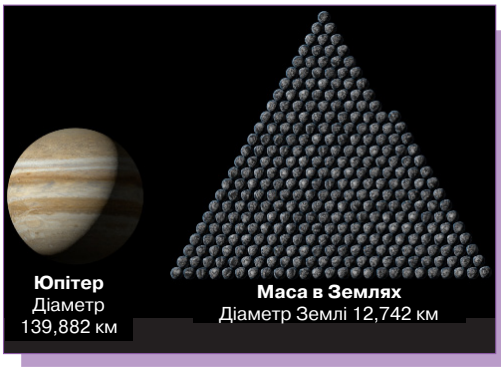


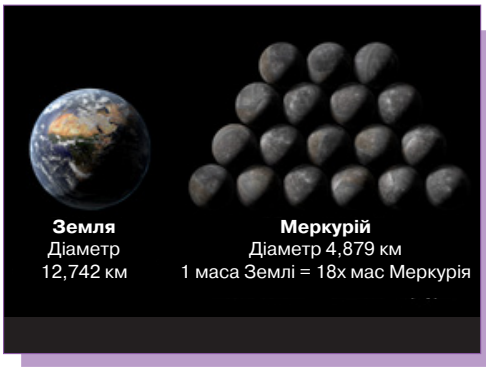
Мал. 2.8. Космічні телескопи: а) телескоп «Габбл» (англ. Hubble Space Telescope, HST) — американський оптичний телескоп, розташований на навколоземній орбіті 1990 року. Спільний проект NASA і Європейського космічного агентства (ЄКА); б) орбітальний телескоп «Кеплер» (англ. Kepler) — космічний телескоп НАСА, призначений для пошуків екзопланет. Був запущений 7 березня 2009 року з космодрому на мисі Канаверал у штаті Флорида

РЕКОРДИ «НАЙ» У ЖИВІЙ І НЕЖИВІЙ ПРИРОДІ

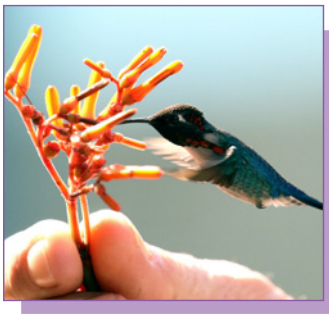
Ми розглянули масштаби Всесвіту від найбільшого до найменшого. Оцінивши об'єкти Всесвіту за параметрами розмір і маса, можна навести такі приклади:

1) маса найбільшої планети Сонячної системи — Юпітера — у 318 разів більша за масу Землі й у 2,5 раза — за масу всіх інших планет разом узятих;
2) найменша планета Сонячної системи — Меркурій (0,055 маси Землі) є найближчою до Сонця;



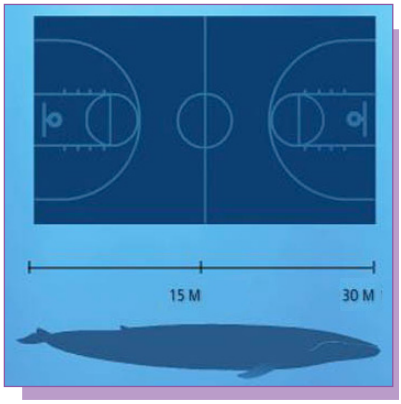


3) найбільша зоря — W26. За оцінками вчених, її радіус перевершує радіус нашого Сонця у 2,5 тис. разів. Окрім цього, ця зоря є найяскравішою з усіх відкритих дотепер;
4) найменша зоря під назвою EBLM J0555-57Ab лише трохи більша за Сатурн;
5) найменшою пташкою є колібрі. Її довжина — 5,7 см, а маса — 2 г. Гнізда цих пташок також надзвичайно мініатюрні: діаметр — до 2 см, а глибина — до 3,10 см. У ньому можуть поміститися яйця, менші від кавових зерняток;
6) найменша мавпа, пігмейська мармозетка, має зріст від 11 до 15 см, а довжина її хвоста удвічі більша — від 17 до 22 см. Маса тіла — 120 г, а маса новонародженого дитинчати становить лише 15 г;
7) найменшою породою собак є чихуахуа. Висота тварини в холці — від 15 до 23 см, маса — від 1 до 5 кг;



8) найменша у світі конячка — Тамбеліна. Її маса лише 27 кг. Цей карликовий кінь 43 см заввишки;
9) найменша жаба у світі — бразильська золота. Довжина дорослої особини — до 9,8 мм;
10) найбільша тварина у світі — блакитний (синій) кит. Досягає 30 м у довжину, його маса близько 180 т. Він є найбільшою поміж відомих науці тварин, які колинебудь існували на нашій планеті;
11) найбільша наземна тварина у світі — африканський слон. Самці сягають від 6 до 7,5 м у довжину, 3,3 м у висоту в холці, їхня маса близько 6 т;
12) найбільший хижак у світі — південний морський слон;
13) найбільші наземні хижаки у світі — ведмеді — білий і кадьяк;
14) найбільша рептилія у світі — морський (гребінчастий, або ніздрюватий) крокодил;
15) найбільша амфібія у світі — китайська велетенська саламандра;
16) найбільша кісткова риба у світі — звичайна місяць-риба (риба-сонце, риба-голова);
17) найбільша змія у світі — гігантська зелена анаконда;
18) найбільший у світі птах — страус.

Візьміть до уваги: префікс «най» може бути поставлений до найрізноманітніших параметрів і критеріїв, що описують об'єкти живої й неживої природи.



Додаткові джерела:

Маценко Г. О. Книга рекордів України. Природа навколо нас. — Тернопіль: «Навчальна книга — Богдан», 2000. к 80 с.

І GOOGLE вам на додачу))) .

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

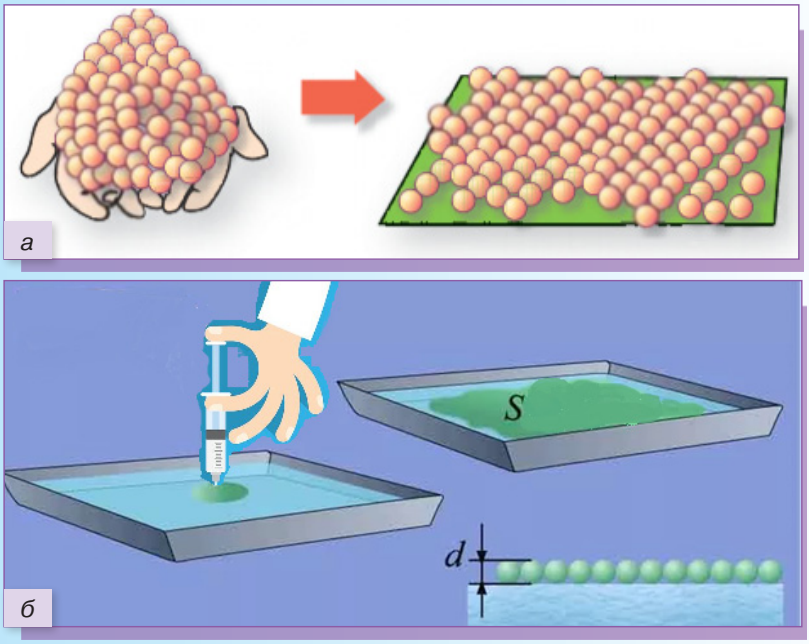
1. За якими параметрами об'єкти живої і неживої природи структуровано за рівнями: мікро-, макро і мегасвіт?
2. Чому ми не можемо зазирнути «за горизонт» Всесвіту — побачити об'єкти, віддалені від нас на відстань понад 13 млрд св. років?
3. Що обмежує наші можливості в дослідженні об'єктів мікросвіту?
4. Наведіть приклади взаємозв'язку біологічних, фізичних і хімічних явищ у природі.
5. Що спільного в експериментальних методах вивчення мега- і мікросвіту?

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

1. Оцінювання розмірів молекул.

Якщо висипати жменю горошин, то вони розсипаються поверхнею шаром в одну горошину завтовшки (мал. 2.9, *а*).



Мал. 2.9. До оцінювання розмірів молекул

Подібно до цього розливається краплина олії поверхнею води (мал. 2.9, *б*), утворивши тонку плівку завтовшки в один шар молекул (а якщо попередньо на воду насипати тальк, то краї плями буде чітко видно). Такий дослід уперше провели німецький фізик В. Рентген і його англійський колега Д. Релей.

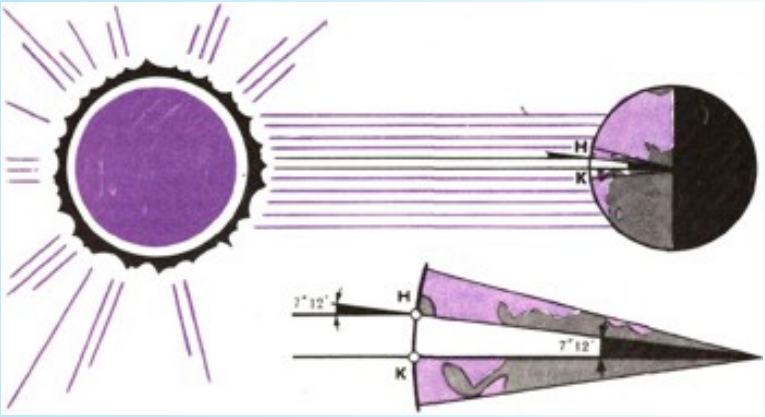
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Вимірявши площу плівки S за максимального розливання олії, з відношення $d = \frac{V}{S}$, де V — об'єм краплини, можна оцінити розмір (діаметр) молекул. Об'єм однієї краплини можна визначити за загальним об'ємом набраної до шприца олії. Для цього потрібно полічити кількість краплин, що утворилися внаслідок обережного витискування олії зі шприца в окрему посудину (не забудьте врахувати краплину, використану для досліду).

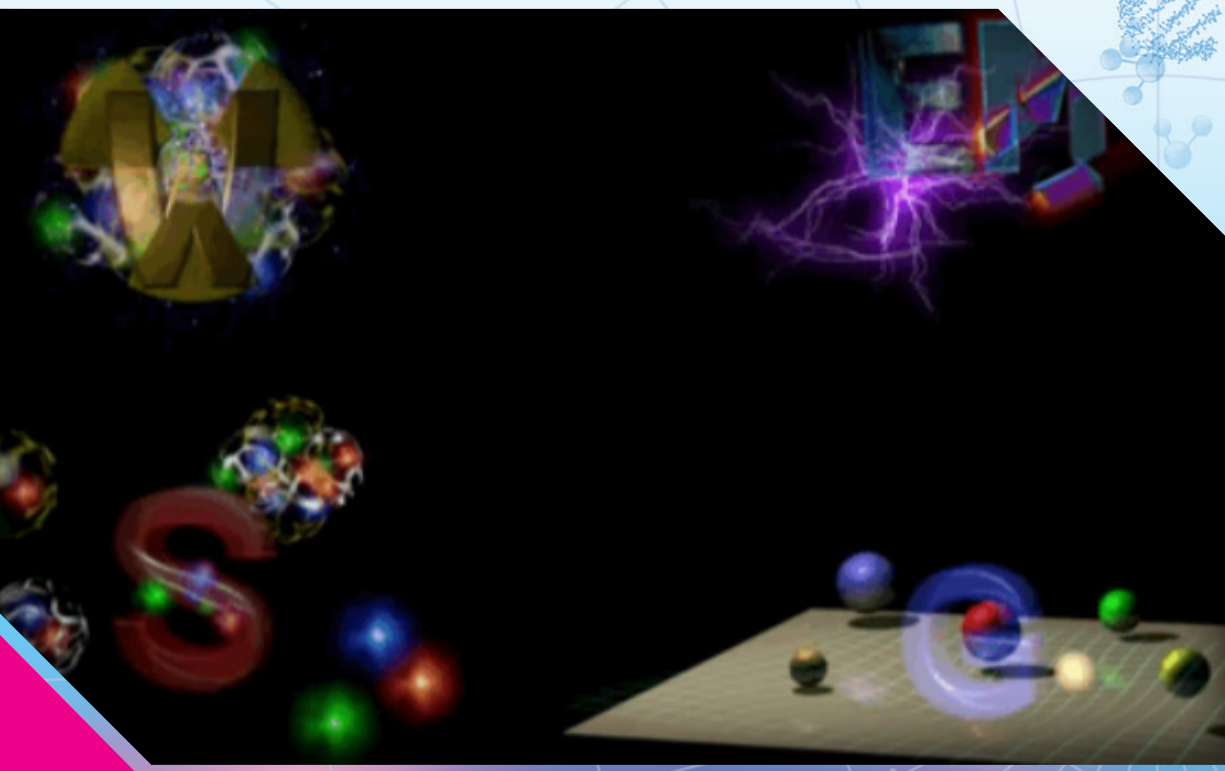
2. Вимірювання розмірів Землі.

Уперше досить точно виміряв розміри земної кулі Ератосфен Кіренський (бл. 276–194 до н. е.) — давньогрецький математик, астроном і географ з єгипетського міста Александрія. Він, як і Аристотель, уважав, що Земля має кулясту форму. Ератосфен знав відстань між містами Сієною (Н) й Александрією (К) (див. мал. 2.10) і вважав, що вони розташовані на одному меридіані. Йому вдалося помітити: коли в Сієні Сонце стоїть прямо над головою (відбивається у воді глибоких колодязів), то в Александрії його промені відхиляються від вертикалі на 7°12', тобто на 1/50 кола. За кутом між радіусами Землі та хордою він обчислив довжину кола земної поверхні. За його обчисленнями, вона дорівнювала 40 000 км (що майже збігається із сучасними замірами).

Спробуйте зробити відповідні вимірювання у своїй місцевості. Які розміри Землі ви дістали?



Мал. 2.10. Схема вимірювань земної поверхні за Ератосфеном



Б. 3. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ВЗАЄМОДІЇ

У мікро-, макро- і мегасвітах є якісно різні системи об'єктів. Так, ядра атомів — це пов'язані системи протонів і нейтронів; самі атоми — це пов'язані ядра й електрони; макротіла — сукупність пов'язаних атомів або молекул; сонячна система — «зв'язка» планет і масивної зорі тощо. Як ви здогадуєтеся, має бути щось таке, що скріплює частини системи в ціле

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Знати й *розуміти* характерні властивості фундаментальних взаємодій, роль поля у взаємодії.

Уміти характеризувати фундаментальні взаємодії, розрізняти види фізичних полів.

Оцінювати роль фундаментальних взаємодій у природі

НА ЧОМУ ВСЕ ТРИМАЄТЬСЯ?

Пригадайте курси фізики й хімії. Завдяки якій взаємодії утримуються нуклони в ядрі? Електрони в атомі? Атоми в молекулі? Молекули в речовині? Людина на планеті Земля? Планети біля Сонця? Якщо ви знаєте відповідь, щиро вітаємо! Бо ви людина, освіченіша за найрозумнішого вченого початку XX ст. У той час науці були відомі сили, які було зведено до двох фундаментальних взаємодій: електромагнітної й гравітаційної.

Однак уже в 30-ті роки XX ст. було з'ясовано, що всередині атома міститься ядро, яке й саме складається з нуклонів (протонів і нейтронів). Зрозуміло, що ні за допомогою електромагнітних, ні за допомогою гравітаційних взаємодій не можна пояснити, що утримує нуклони в ядрі. Було доведено існування нової фундаментальної взаємодії: сильної взаємодії. Проте надалі виявилося, що й за її допомогою неможливо пояснити всі явища в мікросвіті, зокрема, не було зрозуміло, що примушує розпадатися вільний нейтрон. Так було постульовано існування слабкої взаємодії, і, як виявилося, цього достатньо для опису всіх взаємодій, що дотепер спостерігали в мікросвіті.

Отже, у середині XX ст. були відомі чотири фундаментальні взаємодії: гравітаційна, електромагнітна, сильна й слабка, а також два види матерії: речовина і поле.

Речовина — це форма матерії, що складається з елементарних частинок (протонів, електронів, нейтронів тощо), які мають певні розміри й масу. З цих частинок складаються атоми та молекули, що утворюють речовини, з яких утворені всі навколишні тіла. *Поле* — форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між частинками речовини або тілами. Цей феномен не можна «побачити чи помацати», але можна відчути його вплив.

Поля існують разом із частинками (тілами), а можуть поширюватися й самостійно, як хвиля.

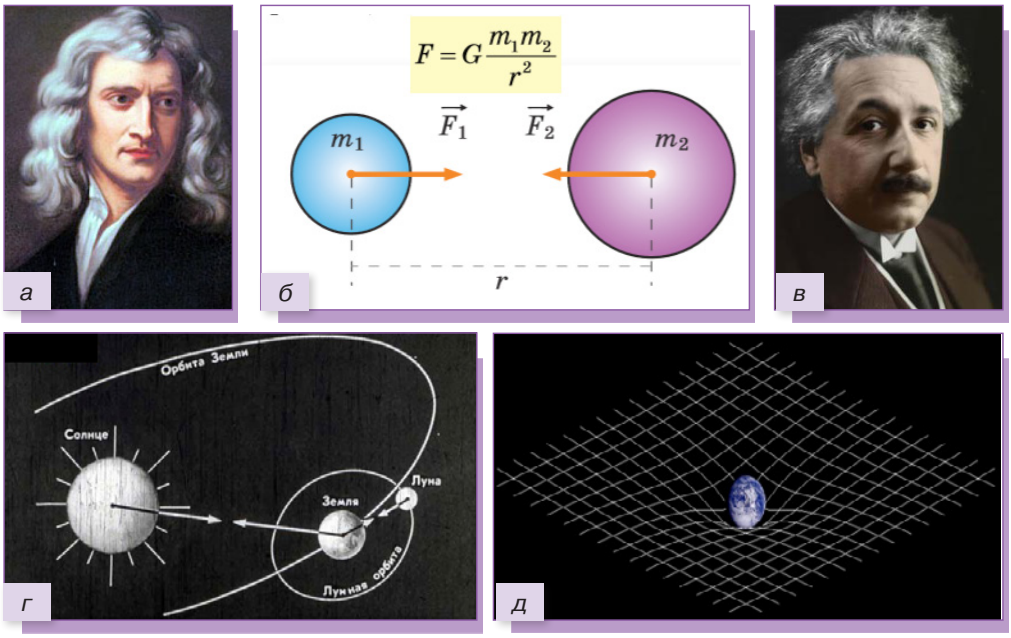
Спробуймо розібратися, для чого нам потрібна кожна із чотирьох фундаментальних взаємодій і що зміниться в нашому житті, якщо яка-небудь з них зникне.

ЩО МЕНЕ ДО ТЕБЕ ПРИТЯГУЄ?

Про роль гравітаційної взаємодії ви, без сумніву, можете розповісти самі. Саме ця взаємодія утримує нас на поверхні Землі, а саму Землю — на орбіті навколо Сонця. Якби вона зникла, чи існував би Всесвіт?

Гравітацію, як властивість усіх тіл взаємно притягуватися, дослідив Ісаак Ньютон (мал. 3.1, *а*). Фізичною величиною, що описує здатність тіл вступати в гравітаційну взаємодію, є їхня маса (також уживають термін «гравітаційна маса»): що більша маса тіл, то сильніше вони притягуються одне до одного. Математично гравітаційну взаємодію описує встановлений у 1682 р. Ісааком Ньютоном *закон всесвітнього тяжіння,* відповідно до якого всі тіла взаємно притягуються із силою, що прямо пропорційна добутку мас тіл, які взаємодіють, та обернено пропорційна квадрату відстані між ними (мал. 3.1, *б*).

Механізм гравітаційної взаємодії пояснюють тим, що навколо будь-якого матеріального тіла (зокрема й навколо людини) є *гравітаційне поле*. Це поле — особливий різновид матерії, від дії якого нічим не можна захиститися.



Мал. 3. 1: *а* — Ісаак Ньютон; *б* — ілюстрація до закону Всесвітнього тяжіння; *в* — Альберт Ейнштейн; *г* — ілюстрація гравітаційної взаємодії в сонячній системі; *д* — двовимірна ілюстрація викривлення простору-часу поблизу масивного тіла

У 1915 р. Альберт Ейнштейн (мал. 3.1, *в*) удосконалив (а по суті створив нову) теорію гравітації — загальну теорію відносності (ЗТВ), придатну для опису гравітаційної взаємодії тіл, що рухаються зі швидкостями, близькими до швидкості світла, а також застосовну у випадку сильних гравітаційних полів, що виникають, наприклад, поблизу нейтронних зір і чорних дір. На відміну від запропонованої Ісааком Ньютоном гравітації, як «дії притягання на відстані (мал. 3.1, *г*)», Ейнштейн запропонував розглядати її як наслідок «викривлення» (деформації) простору-часу, яке відбувається під впливом масивного тіла (мал. 3.1, *д*). Що тіло масивніше, то більше «прогинається» під ним простір-час, і, відповідно, сильнішим стає його гравітаційне поле.

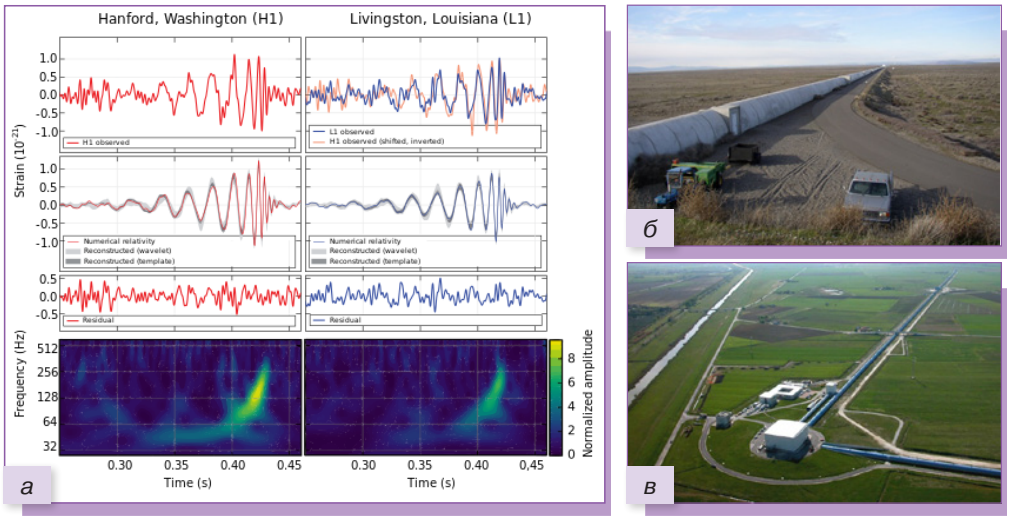
Найчастіше ефект від викривлення ілюструють малюнком, аналогічним малюнку 3.1, *д*. На ньому зображено, як масивне тіло «розтягує» уявну «сітку» простору-часу, унаслідок чого лінії сітки, що були прямими в пласкому просторі, стають викривленими. Як наслідок, траєкторії тіл, які були би прямими в плоскому просторі, змінюють свою форму поблизу масивного об'єкта. Однак потрібно пам'ятати, що цей малюнок — лише ілюстрація, яка далеко не повністю відображає фізичну реальність. Насправді ж поблизу масивного тіла викривляється не лише простір, а й простір-час, унаслідок чого змінюється не лише просторова форма траєкторій, а й часові параметри руху: тіла зазнають пришвидшення (сповільнення). Реальний простір є тривимірним, а простір-час — чотиривимірним. На малюнку довелось обмежитися зображенням двовимірного простору заради наочності.

У Сонячній системі ефекти ЗТВ виявляють себе незначними відхиленнями фактичних траєкторій руху планет та інших космічних тіл від орбіт, розрахованих у межах класичної теорії Ньютона.

А у Всесвіті, як передбачав Ейнштейн, викривлення просту-часу масивними об'єктами має породжувати гравітаційні хвилі, що поширюються зі швидкістю світла. Гравітація є найслабшою поміж чотирьох фундаментальних взаємодій, тому тільки космічні явища колосального розміру — зіткнення/взаємодія чорних дір, нейтронних зір/пульсарів чи вибух наднової — можуть стати джерелом відчутних для нас гравітаційних хвиль.

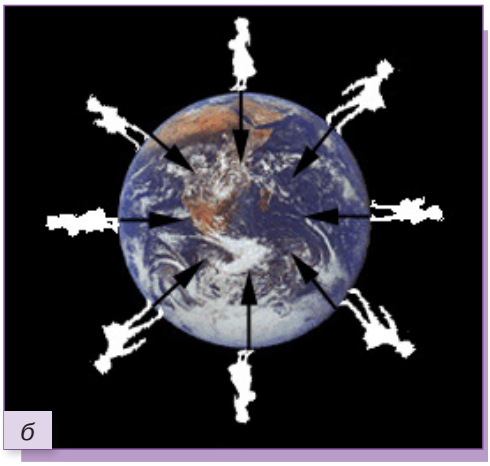
Перші докази існування гравітаційних хвиль було здобуто в 1974 р., коли в системі однієї з подвійних зір зареєстрували зменшення періоду обертання внаслідок втрати енергії через випромінювання гравітаційних хвиль. За це відкриття американські радіоастрономи Джозеф Тейлор і Расселл Халс у 1993 р. одержали Нобелівську премію.

Зареєструвати гравітаційні хвилі вчені змогли лише 14 вересня 2015 р. завдяки лазерним інтерферометрам LIGO та VIRGO гравітаційно-хвильових обсерваторій (мал. 3.2). 11 лютого 2016 р. світ дізнався про це грандіозне відкриття. За нього Райнер Вайс, Баррі К. Баріш і Кіп С. Торн одержали Нобелівську премію 2017 року.



Мал. 3.2: *а* — сигнали гравітаційної хвилі, отримані інструментами LIGO в Ханфорді, у Вашингтоні (ліворуч) та Лівінгстоні, штат Луїзіана (праворуч), і порівняння цих сигналів із сигналами, очікуваними через подію злиття з чорною дірою; *б* — північний нижній рукав обсерваторії гравітаційних хвиль LIGO; *в* — VIRGO — великий інтерферометр, розташований поблизу Пізи в Італії

Повернімося до нашої планети. Якби Земля не оберталася, то в результаті взаємного притягання всі земні частини розташовувалися б рівномірно навколо спільного центра притягання, і Земля набула б форми правильної нерухомої кулі. Сила притягання на поверхні такої кулі була б скрізь однакова і спрямована до центра (мал. 3.3).



Мал. 3.3: *а* — «Тягне вниз притягання планети, в атмосфери полоні — тіло, і нитками невидних вібрацій моє серце тримає земля». *Марта Тарнавська*[1]. Притягання землі і неба. Картина *В. Бабака*[2] «Притяжіння Землі»; *б* — усі до центра

Унаслідок обертання Землі діють сили, які не лише притягують, а й відштовхують тіла, що перебувають на поверхні Землі. Їх називають відцентровими силами. Відцентрові сили перпендикулярні до осі обертання. На полюсі, де швидкість обертання дорівнює нулю, відцентрова сила також дорівнює нулю. На екваторі, де лінійна швидкість найбільша (465 м/с), відцентрова сила також найбільша. Рівнодійну відцентрової сили й сили притягання називають *силою земного тяжіння*. Величина сили тяжіння на поверхні Землі залежить від географічної широти. Із збільшенням широти вона зростає, оскільки в цьому напрямку зменшується відцентрова сила й віддаль до центра Землі. Тому на полюсах, де відцентрової сили практично немає, а піввісь найкоротша, сила тяжіння найбільша. На екваторі, де відцентрова сила найбільша й піввісь найдовша, сила тяжіння найменша. Якщо привезти з екватора на полюс 20 000 тонн вантажу, то він «поважчає» на 100 тонн. Але цю добавку можна виявити лише тоді, коли вантаж на полюсі переважити на пружинних вагах (динамометрі, канторі, безміні).

Зі збільшенням висоти сила тяжіння різко зменшується і над екватором на висоті 40 тис км дорівнює нулю.

Сила тяжіння зумовила форму Землі, бо ущільнила внутрішню речовину й, незалежно від хімічного складу, сформувала тверде ядро. Якби Земля була правильною нерухомою кулею, однорідною за складом речовини від поверхні й до центра, то її сила тяжіння була би скрізь однаковою. На-

[1] *Тарнавська Марта Теодозіївна* (нар. 1930) — українська поетеса, літературознавець, критик, перекладачка, бібліограф, член ОУП «Слово», УВАН у США, Національної спілки письменників України (1995). Дівоче прізвище — Сеньківська.

[2] *Бабак В'ячеслав Петрович* (нар. 1946, Харків). Член Національної спілки художників України з 2003 року. Дипломант міжнародного пленеру, присвяченого 160-річчю від дня народження І. Ю. Репіна. Учасник міжнародних та всеукраїнських виставок. Роботи В'ячеслава Бабака є в музеях України (Червоноград, Чугуїв), а також у приватних колекціях в Україні, Росії, Німеччині, США, Іспанії, Ізраїлі.

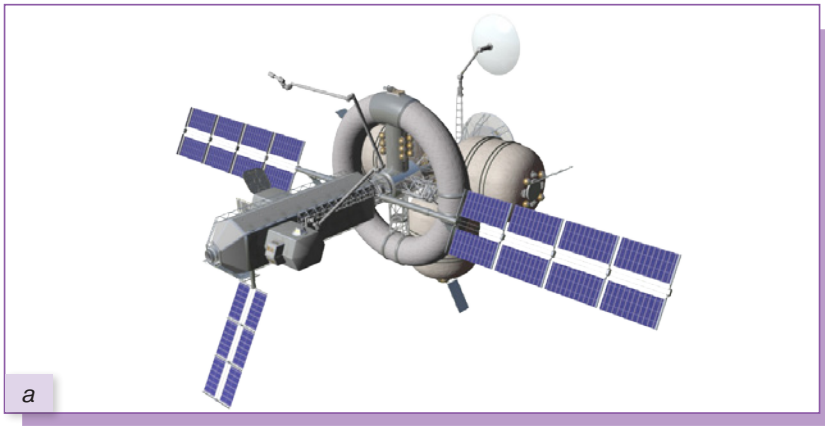
справді ж розподіл речовини в земній кулі неоднорідний, тому фактичне гравітаційне поле відмінне від теоретичного. Прагнення до відновлення гравітаційної рівноваги зумовлює активізацію тектонічних процесів.

Гравітаційне поле утримує на Землі всі предмети й потужну атмосферу, зумовлює найважливіші фізико-географічні процеси: стік річок, рух підземних вод, обвали й лавини в горах, знесення продуктів руйнування до підніжжя схилів, формування рельєфу. Без гравітаційної взаємодії Земля не мала б свого теперішнього вигляду. І, найголовніше, гравітаційне поле втримує на відстані супутник Землі Місяць, який істотно впливає на земні процеси.

Отже, гравітаційна взаємодія — найслабший вид взаємодії. Ми з легкістю піднімаємо камінчик, який притягує ціла планета, маса якої майже 6 секстильйонів тонн ($5{,}9736 \cdot 10^{24}$ кг). Натомість виникає запитання: як вдалося здолати земне тяжіння під час будівництва Єгипетських пірамід, міст Мачу-Пікчу, Баальбек та інших пам'яток стародавніх цивілізацій (мал. 3.4). *Левітація? Антигравітація?*

Мал. 3.4: *а* — Єгипетські піраміди — найбільша архітектурна памятка Стародавнього Єгипту, одне із семи чудес світу;
б — Мачу-Пікчу — доколумбове місто інків, «місто в небесах», «місто поміж хмар», «утрачене місто інків», є символом Імперії інків

А на земній орбіті перед астронавтами постає інша проблема — створення штучної гравітації (мал. 3.5). Якщо створити космічний корабель, що обертається навколо своєї осі, відцентрова сила, що виникає внаслідок цього, «відштовхуватиме» космонавта від центра обертання, тоді він зможе стояти на «підлозі». Що швидше обертатиметься корабель, і що далі від центра перебуватиме космонавт, то сильнішою буде штучна гравітація.



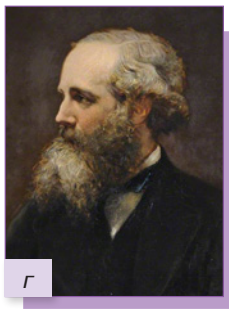
Мал. 3.5: *а* — модель космічного апарату, який зміг би забезпечити штучну гравітацію; *б* — «О рятівна гравітаціє, наскільки приємна тяжкість буття після смертоносної невагомості!» *Райан Стоун*, головна героїня фільму Альфонсо Куарона «Гравітація»

Розв'язання проблеми створення штучної гравітації сприяло б не лише безпечному й тривалому перебуванню космонавтів на міжнародних космічних станціях (МКС), а й було би проривом у гравітаційній біології. Ці відкриття також допоможуть розвинути новий напрям — гравітаційну терапію, застосовну для лікування гіпертонічної хвороби, а також для відновлення кісткових тканин після переламів.

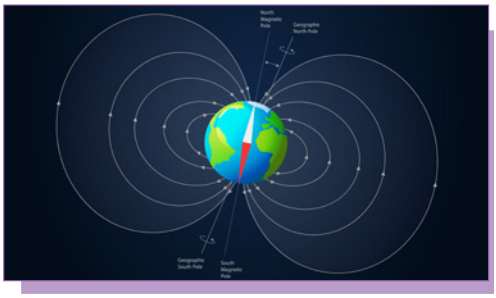
АЖ ІСКРИ ВІД ВЗАЄМОДІЇ

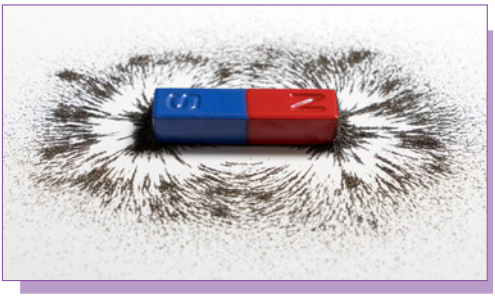
Електромагнітна взаємодія — це не лише електрика й магнетизм, без яких неможливе життя сучасної цивілізації. Ця взаємодія була так само потрібна печерній людині, як і нам з вами. Електромагнітна взаємодія — най-

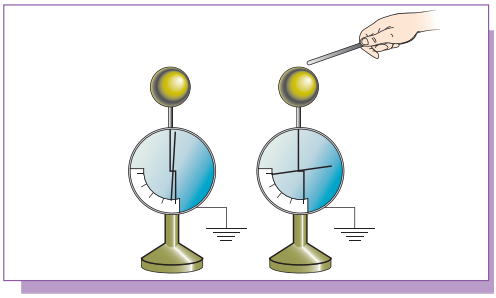
дослідженіша із чотирьох фундаментальних фізичних взаємодій (мал. 3.6), адже нею зумовлено більшість явищ у нашому світі (мал. 3.7). Саме електромагнітна взаємодія зв'язує електрони та ядра в атомах і молекулах. Саме вона відповідає за всі хімічні реакції, зокрема й ті, що відбуваються в організмах. Зникне електромагнітна взаємодія — зникне й життя.



Мал. 3.6. Творці теорії електромагнетизму:
а — Андре-Марі Ампер; *б* — Георг Симон Ом;
в — Майкл Фарадей; *г* — Джеймс Клерк Максвелл

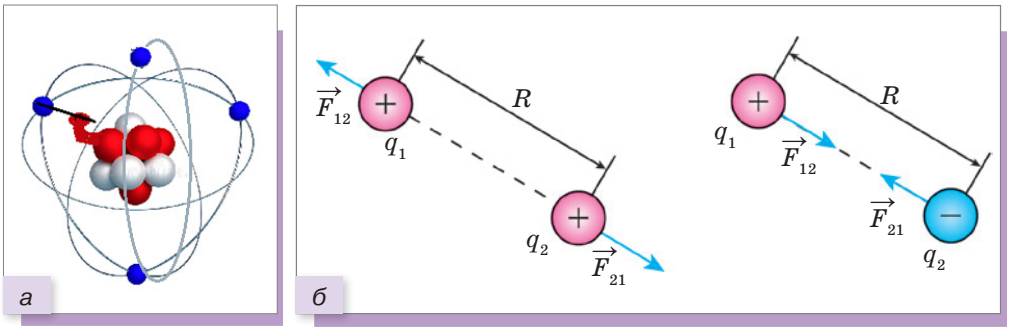






Мал. 3.7. Усюдисуща електромагнітна взаємодія

Електромагнітна взаємодія зумовлена тим, що в природі є частинки, невіддільна особливість яких — електричний заряд. Ці частинки — протон й електрон. Їхні електричні заряди однакові за числовим значенням, однак протилежні за знаком (мал. 3.8).



Мал. 3.8. Електромагнітна взаємодія: *а* — протонів й електронів; *б* — відштовхування однойменно заряджених тіл і притягання різнойменно заряджених тіл

Оскільки є електричні заряди двох знаків, то електромагнітна взаємодія може виявлятися як у притяганні (за різнойменних зарядів), так й у відштовхуванні (за однойменних зарядів) (мал. 3.8, *б*). Цим електромагнітна взаємодія суттєво відрізняється від гравітаційної, якій властиве лише притягання. Проте закон Кулона, що описує взаємодію нерухомих електричних зарядів, подібний до закону Всесвітнього тяжіння. Відповідно до нього сила, що діє між двома зарядженими тілами, пропорційна добутку зарядів й обернено пропорційна квадрату відстані між тілами. Однак є дуже суттєва відмінність. Гравітаційні сили не залежать від того, рухаються тіла чи є нерухомими. А сила взаємодії між зарядами змінюється, якщо заряди рухаються. Наприклад, між двома однаковими нерухомими зарядами діють сили відштовхування. Якщо ж ці заряди рухаються, то сили взаємодії змінюються. На додаток до електричних сил відштовхування виникають магнітні сили.

Завдяки існуванню двох типів зарядів більшість тіл у навколишньому світі електрично нейтральні.

Протони й електрони є складниками частинок, з яких побудовані речовини, — атомів, йонів, молекул. Тож за електромагнітними властивостями речовини поділяють на *провідники*, *діелектрики* й *напівпровідники* (за можливістю рухатися електрично зарядженим частинкам у речовині й, відповідно, створювати електричний струм); на *діамагнетики*, *парамагнетики* й *феромагнетики* (за можливістю переорієнтування руху електронів і, відповідно, намагнічування). Приклади таких речовин та вироби з матеріалів на їхній основі зображено на малюнку 3.9.

Мал. 3.9. *а* — провідники застосовують для передачі електричного струму; *б* — діелектрики є ізоляційними матеріалами для інструментів; *в* — напівпровідники є основним матеріалом в комп'ютерній техніці, світлодіодах, фотоелементах; *г* — з феромагнітних матеріалів виготовлюють магніти

Особливості утворення й існування електричного струму залежно від агрегатного стану речовини наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

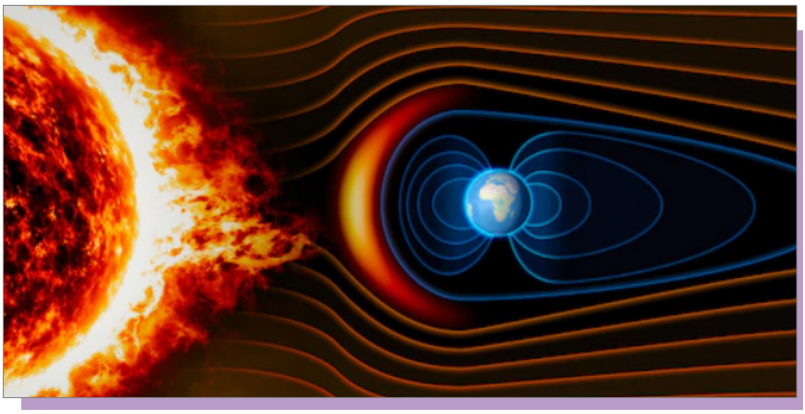
Назва середовища	Метали	**Електроліти** — речовини, водні розчини або розплави яких проводять електричний струм	Гази
Процес утворення носіїв струму	Мають вільні електрони	**Електролітична дисоціація** — розщеплення молекул (атомів) речовини на йони у водному розчині або в розплаві	**Йонізація** — утворення позитивних і негативних йонів та вільних електронів з молекул (атомів) газу
Носії струму	Вільні електрони	Позитивно й негативно заряджені йони	Позитивно й негативно заряджені йони та електрони
Закони	Закон Ома Закон Джоуля — Ленца	Закон Фарадея	

Тривалий час магнітні та електричні взаємодії вважали різними явищами, не пов'язаними між собою. І лише в 1820 р. данський учений Ганс Крістіан Ерстед виявив дію електричного струму на магнітну стрілку й змусив замислитися вчених про взаємозв'язок електричних і магнітних явищ.

Поняття поля (електричного та магнітного) увів Майкл Фарадей у 1830 р. Згідно із цими уявленнями заряджені частинки або струми створюють в усіх точках навколишнього простору особливий стан — поле, яке діє на будь-яку іншу заряджену частинку або струм, уміщені в довільну точку цього простору.

Отже, поле заряджених електричних частинок або струмів зосереджене в усіх точках навколишнього простору. У кожній такій точці електромагнітне поле характеризують енергією та імпульсом.

Окрім гравітаційного Земля має й електромагнітне поле (мал. 3.10).



Мал. 3.10. Електромагнітне поле Землі — «щит» від сонячного вітру

Вирішальний крок у пізнанні електромагнетизму зробив у середині XIX ст. Джордж Максвелл, який об'єднав електрику й магнетизм в єдину теорію електромагнетизму — першу єдину теорію поля. Він стверджував, що електромагнітне поле може існувати й вільно, незалежно від джерел, які його створили, у вигляді електромагнітних хвиль. У 1865 р. Джордж Максвелл теоретично довів, що електромагнітні коливання за своєю внутрішньою природою мають властивість поширюватися в просторі зі швидкістю світла.

Електромагнітну взаємодію описують фундаментальні закони електростатики й електродинаміки: закон Кулона, закон Ампера, закон Ома, закон електромагнітної індукції тощо. Найзагальнішим описом є електромагнітна теорія Максвелла (класична електродинаміка), заснована на фундаментальних рівняннях, що пов'язують електричне й магнітне поля.

Сучасною є квантова електродинаміка, яку вважають найдосконалішою з усіх теорій, що є наразі. Ця теорія відповідає основним вимогам як квантової теорії, так і теорії відносності.

Електромагнітна взаємодія властива не лише об'єктам неживої природи. Її також широко використовують у медичній біології та біологічній медицині. Ідеться, зокрема, про таке:

- дослідження електричних процесів, що відбуваються в організмах, а також електричні й магнітні властивості біологічних об'єктів;
- вивчення механізмів упливу зовнішніх електромагнітних полів на біологічні тканини;
- використання сучасної електронної апаратури для потреб медицини та біології.

НАЙСИЛЬНІША З НАЙМЕНШИХ

Сильна взаємодія забезпечує термоядерні реакції, що є джерелом енергії Сонця та інших зір. Та це ще не все. Сильна взаємодія зв'язує заряджені однойменним електричним зарядом протони в ядрах атома й цим забезпечує їхнє існування і, як наслідок, різноманіття хімічних елементів. Не було б сильної взаємодії, з усіх ядер атомів залишилися б тільки найпростіші — ядра атома Гідрогену, тобто протони. Життя на основі самих лише атомів Гідрогену та молекул водню, звісно, неможливе. Якщо зникне сильна взаємодія, ми перетворимося на водень.

Важливою характеристикою сильної взаємодії є те, що вона діє не між будь-якими частинками. Наприклад, на електрон ця взаємодія не впливає. Частинки, які беруть участь у сильній взаємодії, згодом стали називати *адронами*, а частинки, що не беруть участі в сильній взаємодії, — *лептонами*.

ЧОМУ ВОНА СЛАБКА, ЯКЩО ТАКА СИЛЬНА?

Роль слабкої взаємодії пояснити дещо складніше. Життя всім земним організмам дає енергія Сонця, яка виділяється внаслідок ядерних реакцій у надрах Сонця. У цих реакціях у результаті злиття легких ядер утво-

рюються важкі ядра. Найперша з ланцюжка таких реакцій — це реакція перетворення протона на нейтрон, позитрон (античастинку електрона) та нейтрино. Ця реакція відбувається внаслідок зіткнення двох протонів. Саме за цю реакцію й відповідає слабка взаємодія. Без цієї реакції горіння зір припинилося б.

Слабка взаємодія — універсальна взаємодія між будь-якими частинками. Вона відповідає за перетворення одних мікрочастинок на інші. Це взаємодія нетривалої дії. Її виявляють на відстанях, менших за 10^{-16} см. На більших відстанях вона практично зникає. За тих відстаней, на яких виконує роботу сильна взаємодія всередині ядра, слабка взаємодія практично не діє. Однак за зменшення відстані між частинками слабка взаємодія за величиною зрівнюється із сильною.

Засобом вивчення фундаментальних взаємодій є опис їх за допомогою кількох теорій, що також називають фундаментальними:

- класична механіка Ньютона;
- класична електродинаміка Максвела;
- теорія відносності/гравітації Ейнштейна;
- квантова теорія

У кожній теорії виникають характерні фундаментальні константи:

- G — $6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$ — гравітаційна стала в класичній механіці;
- c — $3 \cdot 10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ — швидкість світла у вакуумі в електродинаміці й теорії відносності;
- h — $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с — стала Планка у квантовій теорії

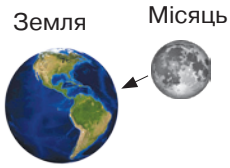
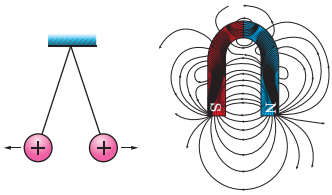
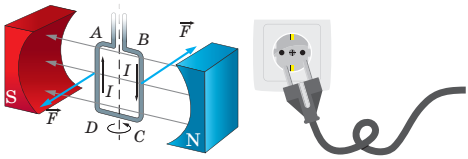
«ВЕЛИКЕ ОБ'ЄДНАННЯ»

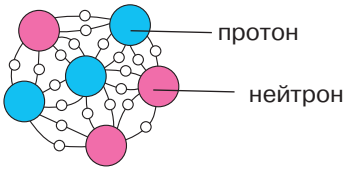
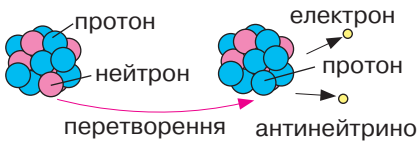
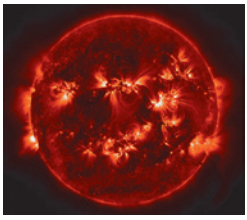
Фізики наполегливо шукають інші типи взаємодій як у явищах мікросвіту, так і в масштабах Всесвіту, однак поки що існування будь-якого іншого — п'ятого типу взаємодії не виявлено.

Фізики також беруть за мету створити теорію, яка б об'єднала всі типи взаємодій, пояснивши їх з єдиної точки зору. Ця ідея випливає зі сприйняття навколишнього світу як єдиного цілого. Завдання це надзвичайно складне. Ейнштейн свого часу витратив 40 років свого життя, щоб об'єднати гравітаційну та електромагнітну взаємодії, однак це йому не вдалося. На початку 60-х років XX ст. американські фізики Стівен Вайнберг та Шелдон Лі Глешоу, а також пакистанський фізик Абдус Салам запропонували теорію, яка об'єднала слабку й електромагнітну взаємодії. У цій теорії слабку й електромагнітну взаємодії розглянуто як два різні вияви єдиної, фундаментальнішої — електрослабкої взаємодії. Створення теорії електрослабкої взаємодії відзначено присудженням С. Вайнбергу, Ш. Глешоу та А. Саламу Нобелівської премії з фізики за 1979 рік.

Але до повного («великого») об'єднання всіх видів взаємодій ще далеко. Деякі найважливіші відомості щодо них наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Взаємодія	
Гравітаційна	Електромагнітна
	
Універсальна взаємодія, властива усім без винятку частинкам, які мають масу (у мікросвіті суттєвої ролі не відіграє). Будь-які матеріальні об'єкти у Всесвіті притягуються один до одного	Електрична взаємодія заряджених тіл і частинок; магнітне притягання і відштовхування рухомих заряджених частинок та намагнічених тіл
Маса	Електричний заряд
Виявляють на будь-яких відстанях	Виявляють на будь-яких відстанях
Утворення та існування планет, зіркових планетних систем, галактик тощо	Утворення та існування атомів, молекул, фізичних тіл; утворення радіосигналів, нервових імпульсів тощо
	

Взаємодія	
Сильна	Слабка
	
Взаємне притягання нуклонів усередині ядра незалежно від їхнього заряду	Взаємодія, яку виявляють у процесі розпаду елементарних частинок. Наприклад, перетворення нейтрона на протон
Маса	Електричний заряд
Виявляють на відстанях порядку 10^{-15} м (розмір нуклона)	Виявляють на відстанях порядку 10^{-18} м
Існування та стійкість атомних ядер	Повільні розпади частинок
Світіння зір	
	

Отже, усе в матеріальному світі (тіла, елементарні частинки, біологічні істоти, люди, співтовариства) взаємодіє. Взаємодія, рух, матерія — найвзаємопов'язаніші між собою поняття.

Ми не можемо достеменно знати, як те все у Всесвіті розпочалося й «зв'язалося» в такий величезний і складний «механізм», що саме змусило працювати його так, а не інакше. Проте ми можемо, принаймні, ми так вважаємо, пояснити й зрозуміти, що із чим пов'язане у світі, що є тепер. І певною мірою можемо спрогнозувати, що буде далі. А от що ми маємо знати напевне, то це те, як наша людська діяльність упливає на світ, у якому ми живемо!!!

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. У чому сутність понять «фундаментальні поля» та «фундаментальні взаємодії»? Наведіть приклади полів, які не є фундаментальними. Поміркуйте й наведіть приклади нефундаментальних взаємодій.
2. Що загалом можна сказати про механізм усіх фундаментальних взаємодій?

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

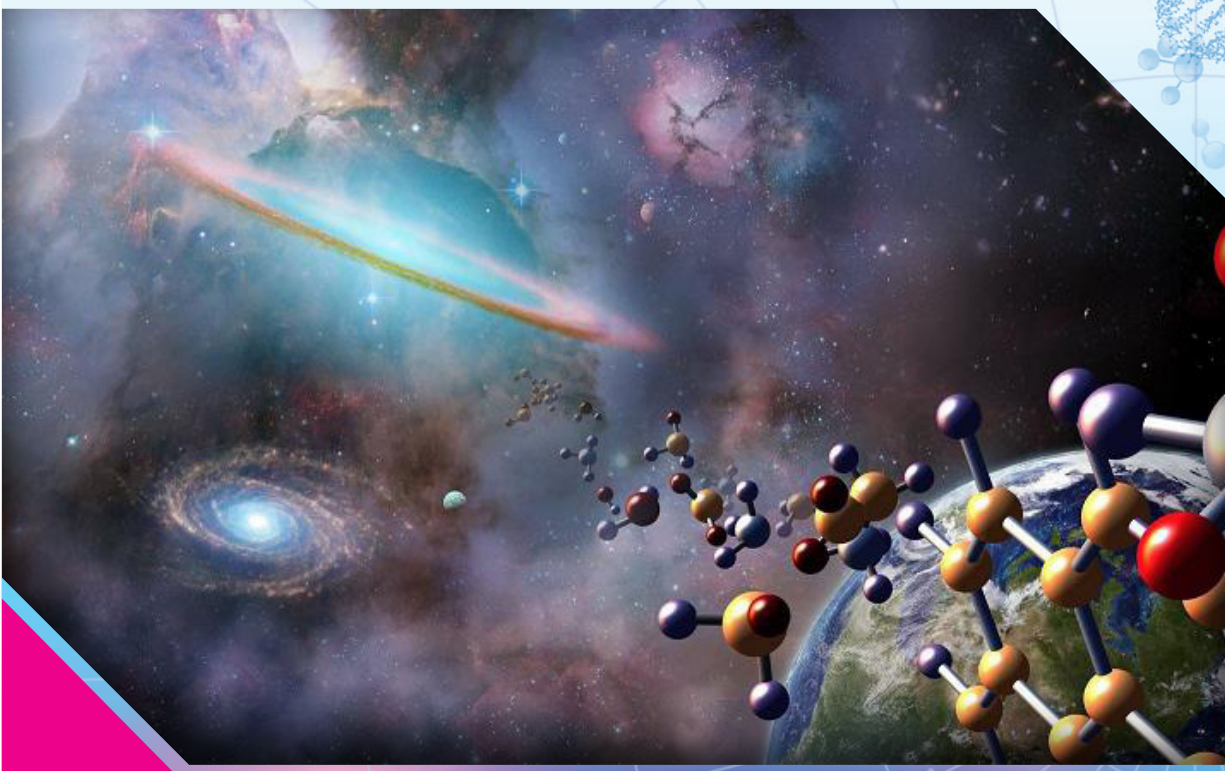
ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Дослідження гравітаційної та електромагнітної взаємодій

1. Переконайтеся в існуванні двох видів електричних зарядів і їхній взаємодії. Для цього підвісьте на штативі паперову гільзу на шовковій нитці та зарядіть її. Наелектризуйте лінійку з оргскла та гумову смужку (тертям, притискуванням, ударянням). Візьміть до уваги, що оргскло у взаємодії з гумою набуває позитивного заряду. Підносьте почергово заряджену лінійку та гумову стрічку до зарядженої гільзи, але не торкайтеся її, спостерігайте за їхнєю взаємодією. *Якими зарядами заряджено паперову гільзу й гумову смужку?*
2. Порівняйте, у скільки разів гравітаційна сила, що діє на вас з боку Землі, більша за гравітаційну силу, що діє з боку Сонця. (Маса Сонця в 330 000 разів більша за масу Землі, а відстань від Землі до Сонця становить 150 млн км).

ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Роль гравітації для організмів.
- Тертя в живій і неживій природі.



Б. 4. З ДРІБНИХ ЧАСТИНОК

Із чого все складається?
Навіщо знову запитувати? Та знаємо ми: молекули з атомів, атоми — з ядер та електронів, ядра — з протонів і нейтронів.
І що? І вас не цікавить, чи є ще дрібніші частинки? А ось учених дуже цікавить. У найбільшому в світі міжнародному дослідницькому центрі європейської спільноти (ЦЕРН) працює близько 12 000 дослідників 80 національностей з 500 наукових центрів й університетів, це половина всіх фізиків — дослідників мікросвіту

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Називати складові частинки атома, елементарні частинки; основні положення молекулярно-кінетичної теорії будови речовини.
Наводити приклади підтвердження дискретності речовини; металів і неметалів; частинок й античастинок.
Передбачати властивості хімічних елементів і простих речовин залежно від розташування елементів у періодичній системі.
Пояснювати відмінності між атомами, йонами, молекулами; фізичними й хімічними явищами.
Розрізняти способи опису об'єктів і систем: дискретний і неперервний.
Розуміти суть корпускулярно-хвильового дуалізму.
Усвідомлювати значення астрономічних досліджень для розвитку природничих наук

ЧИ Є МЕЖА ПОДІЛУ?

Гіпотеза про дискретну будову речовини була висунута ще 25 століть тому грецьким філософом Демокрітом. За легендою, якось Демокріт сидів на камені біля моря, тримав у руці яблуко й розмірковував: «Якщо я зараз це яблуко розріжу навпіл — у мене залишиться половина яблука; якщо я потім цю половину знову розріжу на дві частини —залишиться чверть яблука; але якщо я й далі продовжуватиму такий поділ, то чи не приведе це до того, що решта вже не матиме властивостей яблука?». Демокріт дійшов висновку, що межа поділу є, і назвав цю останню, вже неподільну частинку, «атом» — неподільний. Від найдавніших часів до середини XIX ст. було відкрито 63 різновиди атомів — хімічні елементи.

XVI — XIX ст. знаменні дослідженнями електрики й магнетизму. Саме тоді почала розвиватися електрохімія. За результатами досліджень було створено перші хімічні (гальванічні) джерела струму, відкрито термоелектричні явища та електроліз. Уперше електролізом розкладено воду на кисень і водень. Проте питання, що є причиною цих явищ, тривалий час залишалося без відповіді. Науковці висували ідеї, співзвучні з дискретністю речовини: є дискретна частинка — атом електрики, що відповідає за електричні, теплові та світлові явища. Майкл Фарадей увів термін «йон», фізик і математик Джордж Стоні (1826 — 1911, Велика Британія) — термін «електрон» — для позначення електричного заряду одновалентного йона в електролізі.

Після відкриття явища радіоактивності, пов'язаного з перетворенням нуклідів одного хімічного елемента на нукліди іншого, у 1898 р. було з'ясовано, що внаслідок цього виділяються частинки (*α-частинки, β-частинки, γ-кванти)*. Протягом наступних років було досліджено штучну радіоактивність (ядерні реакції) з метою з'ясування будови атомного ядра. Дослідження елементарних частинок у лабораторних умовах, як ми вже знаємо, здійснюють за допомогою пришвидшувачів частинок і пристроїв для реєстрації їх. У природних умовах досліджують природні потоки частинок — *космічні промені*.

У 1919 р. Ернест Резерфорд здійснив першу ядерну реакцію й *відкрив суб'ядерну частинку — протон* (*p*). У 1932 р. фізик Джеймс Чедвік (1891 — 1974, Велика Британія) відкрив ще одну суб'ядерну частинку — *нейтрон*.

У 1930 р. виявили відразу дві взаємодії: сильну й слабку.

Ще в 1928 р. англійський фізик Поль Дірак (1902 — 1984, Велика Британія) за двома експериментально визначеними характеристиками електрона — масою та зарядом — досліджував, як має рухатися електрон згідно із загальними принципами теорії відносності та квантової теорії. З його теоретичних розрахунків випливала можливість існування такої само частинки, як електрон, однак з позитивним зарядом — позитрона. У 1932 р. фізик Карл Девід Андерсон (1905 — 1991, США) фотографував сліди космічних променів в установці для дослідження їх і виявив на одній з фотографій слід, який міг належати *позитрону*. У 1932 р. Фре-

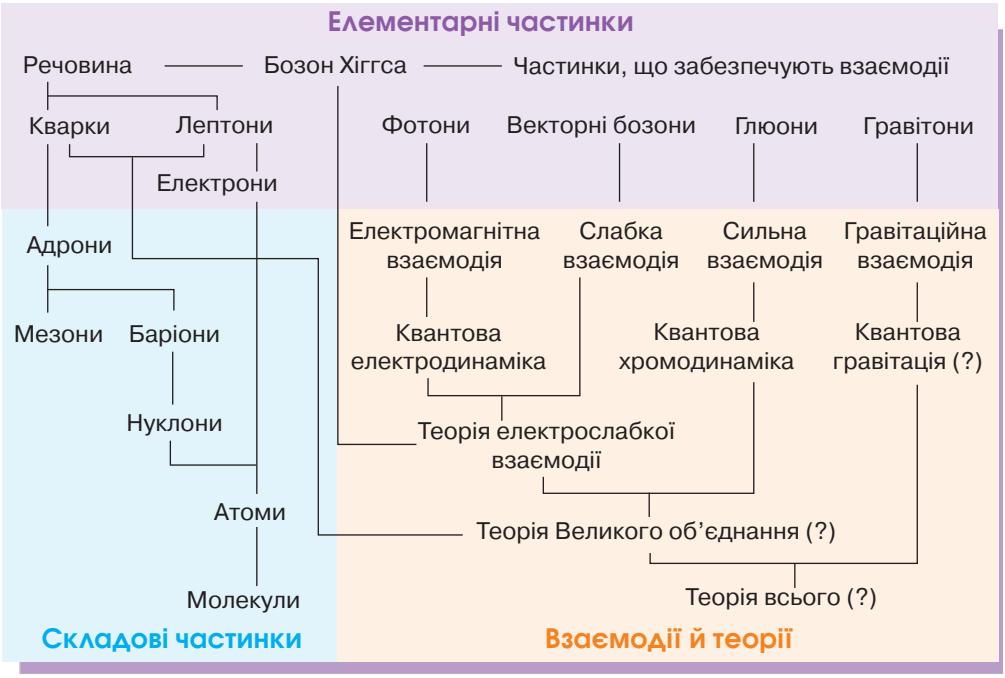
дерик Жоліо-Кюрі експериментально виявив позитрон під час штучної ядерної реакції.

Експериментальне підтвердження існування позитрона дало новий поштовх у дослідженні елементарних частинок. Було виявлено, що майже кожна *частинка має свою античастинку*, *частинки зазнають взаємних перетворень — під час взаємодії частинок одні зникають, інші народжуються*.

У 1949 р. Луї де Бройль (1892 — 1987, Франція) запропонував створити міжнародну організацію для здійснення наукових досліджень мікросвіту. У 1954 р. офіційно відкрито європейську організацію з ядерних досліджень (ЦЕРН) — найбільшу в світі лабораторію фізики високих енергій.

До початку 60-х років XX ст. кількість виявлених елементарних частинок стала настільки великою, що виникла необхідність систематизувати їх. Спершу — за масою. Легкі частинки — *лептони* (до них належить електрон), найважчі — *адрони* (до них належать протони та нейтрони), й особлива частинка — *фотон* — частинка без маси, яка здатна існувати лише в русі зі швидкістю світла.

Далі було з'ясовано, що кожній фундаментальній взаємодії відповідає певна частинка, яка переносить цю взаємодію. Для гравітаційної — *гравітони*[1], для електромагнітної взаємодії — *фотони*, сильну взаємодію зумовлено *глюонами*, слабку — *векторними бозонами*. Більше про елементарні частинки ви дізнаєтеся, проаналізувавши малюнок 4.1.

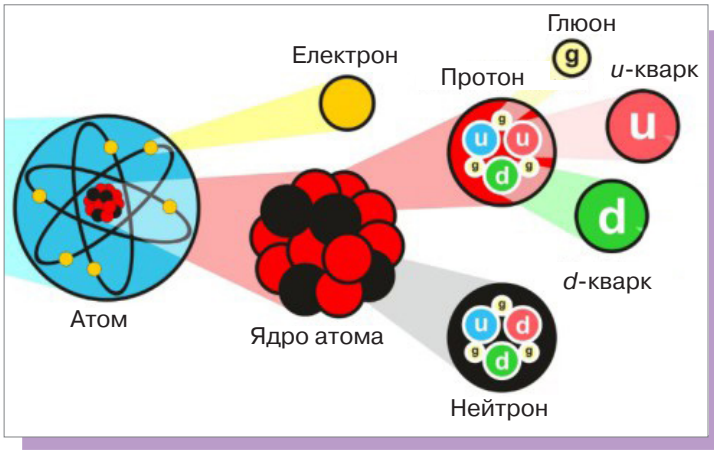


Мал. 4.1. Елементарні частинки

[1] Існування гравітонів поки не доведено експериментально у зв'язку зі слабкістю гравітаційної взаємодії, проте її вважають цілком ймовірною.

Майже всі частинки, які можна безпосередньо спостерігати, належать до лептонів або адронів. Головна відмінність між ними в тому, що адрони беруть участь у сильній взаємодії, а лептони — ні. До того ж лептонів є лише 6, а адронів — понад сотня. Це дало підставу вважати, що адрони не є суто елементарними частинками й мають певну внутрішню структуру. У 1964 р. фізики Марі Гелл-Манн (нар. 1929, США) та Джордж Цвейг (нар. 1937, США) запропонували модель, за якою адрони мають складатися з фундаментальніших частинок — *кварків*.

Саме кварки та лептони є «будівельним матеріалом» для речовин. Завдяки взаємодії кварків існують ядра атомів. Формування електронних оболонок навколо ядра веде до утворення атомів (мал. 4.2).



Мал. 4.2. «Будівельний матеріал» речовин

Погляньте на малюнок 4.2. Подібні зображення траплялися вам у підручниках фізики та хімії, аналогічні малюнки ви знайдете за допомогою пошукової системи Google. Електрони на них зображено як маленькі жовті кульки, ядро атома схоже на ягоду малини, складену із червоних і чорних протонів і нейтронів. Однак ця модель дуже далека від реальності.

У макросвіті немає нічого такого, із чим можна було б порівняти елементарні частинки. Коли відомого фізика Вернера Гайзенберга (1901 — 1976, Німеччина) запитали, як уявити атом, він відповів: «Навіть не намагайтеся». Складники атома зображують у вигляді кульок, щоб хоч так проілюструвати будову речовини. Електрони не схожі на планети, що обертаються орбітами, вони більше нагадують лопаті вентилятора, що в процесі обертання здатні заповнити кожний клаптик простору на своїх орбіталях.

Річ у тім, що елементарні частинки по суті не є частинками у звичному для нас розумінні. Вони поводяться то як частинки, то як хвилі.

Уперше подвійну властивість хвиля-корпускула було виявлено під час дослідження світла (термін «корпускула» використовували саме для того, щоб описати дискретну властивість світла). Світло поширюється в просторі як електромагнітна хвиля, а поглинається й випромінюється як частинка — фотон (докладніше про це йтиметься згодом). Пізніше було

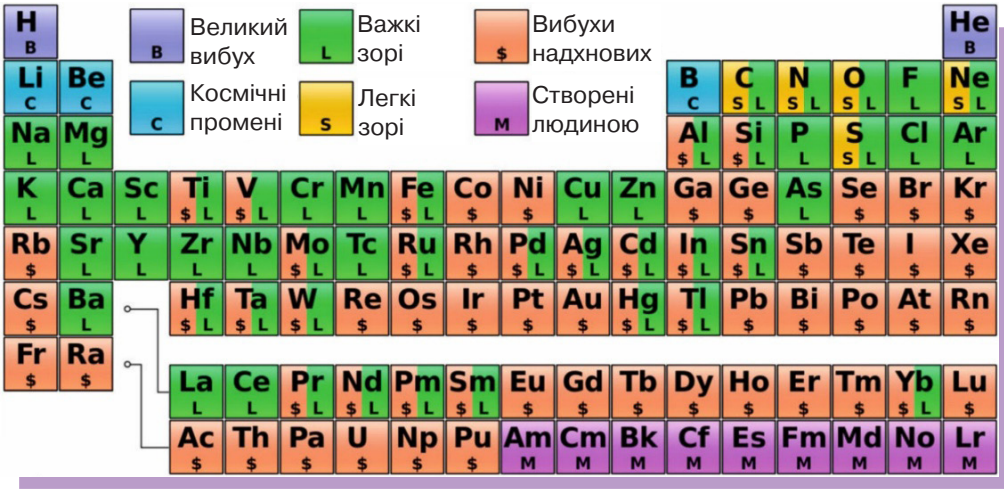
доведено, що електрон також має як корпускулярні, так і хвильові властивості. У науці таку подвійну властивість називали *корпускулярно-хвильовим дуалізмом*, тобто будь-яка елементарна частинка має хвильові властивості, а хвиля має властивості, характерні для частинки.

Отже, у світі елементарних частинок практично немає різниці між хвилею й частинкою, як між структурними елементами речовини й поля. Як окремі види матерії речовину й поле розрізняють на атомарному рівні.

ЯК НАРОДЖУЮТЬСЯ ХІМІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ?

Будівельним елементом речовини є атоми різних видів — хімічні елементи. Справжньою «хімічною кузнею», що забезпечує різноманіття хімічних елементів, є зорі. Дослідження будови зір є, по-суті, дослідженням фізики елементарних частинок та будови атома. Тож для розвитку природничих наук особливого значення набувають астрономічні дослідження.

Кожному стану зорі та її віку відповідають певні ядерні процеси синтезу хімічних елементів (мал. 4.3). Що молодшою є зоря, то більше в ній легких елементів. Найважчі хімічні елементи утворюються лише в процесі вибуху — умирання зорі. У залишках зір та інших космічних об'єктах тривають перетворення речовини. Із цих умов відбуваються вже ядерні реакції розпаду.



Мал. 4.3. Класифікація хімічних елементів за походженням

СПРОБИ КЛАСИФІКАЦІЇ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

До середини XIX ст. було вже відкрито 63 різновиди атомів — хімічні елементи. Тож виникла нагальна потреба їх систематизувати. Першу таблицю простих речовин уклав Антуан Лоран Лавуазьє (1743 — 1794, Франція) у науковій праці «Елементарний курс хімії» (1789). Він класифікував прості речовини за властивостями на *метали* й *неметали* (мал. 4.4).

Мал. 4.4. Метали (*а*): 1 — золото Au, 2 — мідь Cu, 3 — ртуть Hg, 4 — магній Mg; й неметали (*б*): 1 — силіцій Si, 2 — сірка S_8, 3 — червоний фосфор P, 4 — графіт C, 5 — йод I_2, 6 — бром Br_2

Згодом науковці помітили, що прості й складні речовини деяких хімічних елементів подібні за складом і властивостями. За цією ознакою елементи об'єднували в групи — *природні родини*. Наприклад, Флуор, Хлор, Бром, Йод, які входять до природної родини *галогенів*, утворюють однотипні речовини.

Так само подібні між собою *лужні елементи* — Літій, Натрій, Калій тощо.

Природна родина *інертних елементів* — Гелій, Неон, Аргон, Криптон, Ксенон і Радон. Відповідні одноатомні прості речовини — інертні гази — вирізняються тим, що мають дуже низьку реакційну здатність.

Та всі ці спроби класифікації хімічних елементів були недосконалими, бо не мали єдиної основи. Тож науковий пошук тривав...

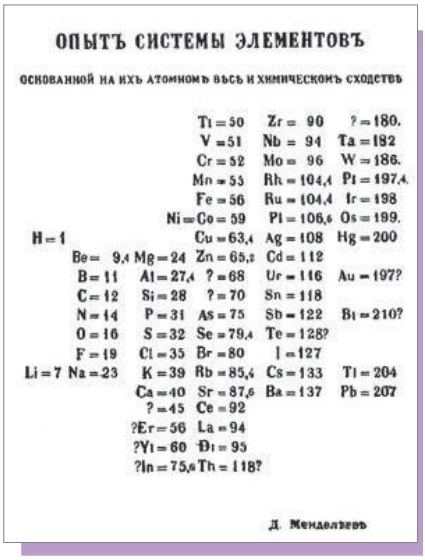
Перші спроби класифікації хімічних елементів здійснювали: хімік Йоганн Вольфганг Деберейнер (1780 — 1849, Німеччина); геолог Олек-

сандр де Шанкуртуа (1820 — 1886, Франція); хімік Джон Ньюлендс (1837 — 1898, Велика Британія).

За крок до відкриття закону, який би об'єднав усі хімічні елементи в чітку наочну систему, був хімік Лотар Мейєр (1830 — 1895, Німеччина). Він дослідив залежність атомних об'ємів хімічних елементів від їхніх атомних мас.

У таблиці, опублікованій Мейєром у 1870 р., більшість із 63 відомих на той час хімічних елементів було розміщено за зростанням їхніх відносних атомних мас і згруповано за валентністю. Тобто Лотар Мейер упритул наблизився до відкриття закону, який міг би об'єднати всі хімічні елементи в чітку наочну систему.

Однак честь відкриття періодичного закону належить професору Петербурзького університету Дмитру Івановичу Менделєєву (1834 — 1907, Росія). Науковець узяв за основу систематизації хімічних елементів відносну атомну масу. Він розділив природний ряд хімічних елементів, у якому вони розташовані за збільшенням атомних мас, на кілька фрагментів. Фрагменти ряду розмістив так, щоб вони складалися з елементів, подібних за хімічними властивостями, — членів однієї з природних родин. Кожний такий фрагмент починався лужним елементом (мал. 4.5).


ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180.
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pl = 106,6	Os = 199.
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделеевъ

Мал. 4.5. Перша періодична система хімічних елементів, створена Д. І. Менделєєвим

Виявлене повторення однакових ознак хімічних елементів Д. І. Менделєєв назвав *періодичністю* й на основі цієї закономірності сформулював *періодичний закон*:

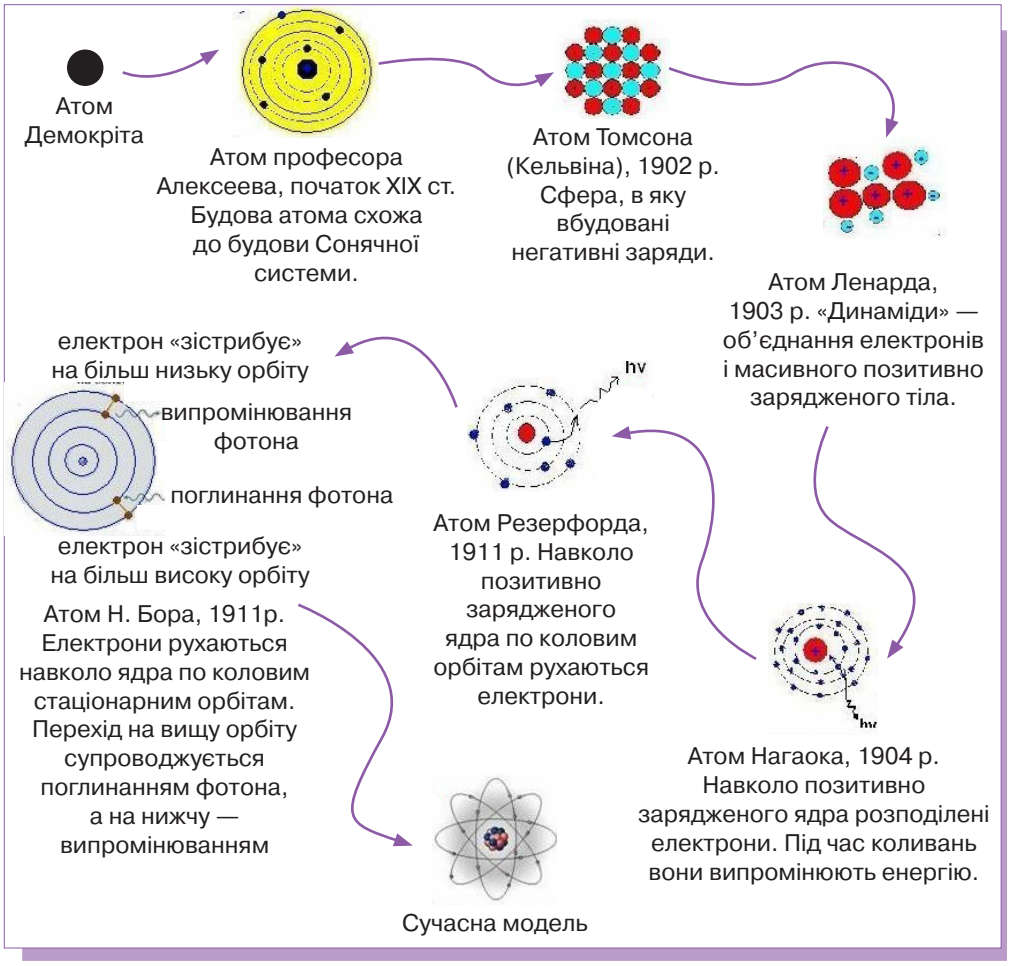
> властивості елементів, а тому й властивості утворених ними простих і складних тіл перебувають у періодичній залежності від величин атомних мас елементів.

Для того щоб у фрагментах ряду перебували хімічні елементи з однаковою валентністю, Д. І. Менделєєву довелося в кількох випадках розташувати елемент із більшою атомною масою перед елементом з дещо меншою атомною масою (*знайдіть ці пари елементів у періодичній системі*). Оскільки цього виявилося замало, то науковець залишив у таблиці прогалини. Він пояснював це тим, що відповідні хімічні елементи ще не відкрито. Наприклад, з геніальною прозорливістю Дмитро Іванович передбачив властивості тоді ще не відкритого хімічного елемента, який назвав ека-Алюмінієм, тобто «подібним до Алюмінію». Відкриття Галію

блискуче підтвердило прогнози Д. І. Менделєєва щодо ека-Алюмінію і стало справжнім тріумфом періодичного закону. Згодом Д. І. Менделєєв на основі періодичного закону виправив неточно визначені відносні атомні маси дев'ятьох і передбачив існування дванадцятьох хімічних елементів.

Закон — форма наукових знань. На конкретних прикладах ви пересвідчилися, яке значення має кількісний підхід до вивчення хімічних елементів, речовин і явищ. Довідалися, як дослідники на основі виявлених закономірностей формулюють їхній словесний або математичний вираз — науковий закон. Вияви періодичного закону науковці спостерігали й досліджували на макрорівні. Теоретичне обґрунтування виявлених закономірностей пов'язане з процесами, які відбуваються на рівні мікросвіту.

Саме встановлення електронної будови атома (мал. 4.6), визначення протонних чисел атомів хімічних елементів у подальшому дали змогу з'ясувати фізичний зміст порядкового номера хімічного елемента в періодичній системі, номерів групи й періоду, у яких він розташований, закономірності змін властивостей хімічних елементів у періодах і групах.

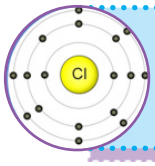


Мал. 4.6. Еволюція уявлень про будову атома

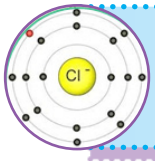
МІЖ ФІЗИКОЮ ТА ХІМІЄЮ

Якщо фізики вивчають матерію на рівні елементарних частинок (у тому числі суб'ядерних) та ядерних реакцій, то на рівні атомів до її вивчення вже долучаються хіміки. Як «поділити» атом між фізиками та хіміками? Які явища є *фізичними*, а які — *хімічними*, якщо і в тих, і в тих беруть участь речовини?

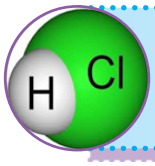
Фізичні й хімічні властивості речовин зумовлені взаємодією між їхніми структурними частинками (мал. 4.7).



Атом — найменша частинка елемента, що зберігає його хімічні властивості; електрично нейтральна частинка, що складається з позитивно зарядженого ядра, яке практично визначає його масу (більше за 99,9 %), та електронів, що оточують ядро й визначають розміри атома



Йон — позитивно (катіон) або негативно (аніон) електрично заряджена частинка, заряд якої кратний заряду електрона



Молекула — найменша частинка простої речовини або сполуки, яка може існувати окремо, зберігаючи її хімічні властивості. Є електрично нейтральною системою атомів, що хімічно зв'язані між собою в певній послідовності

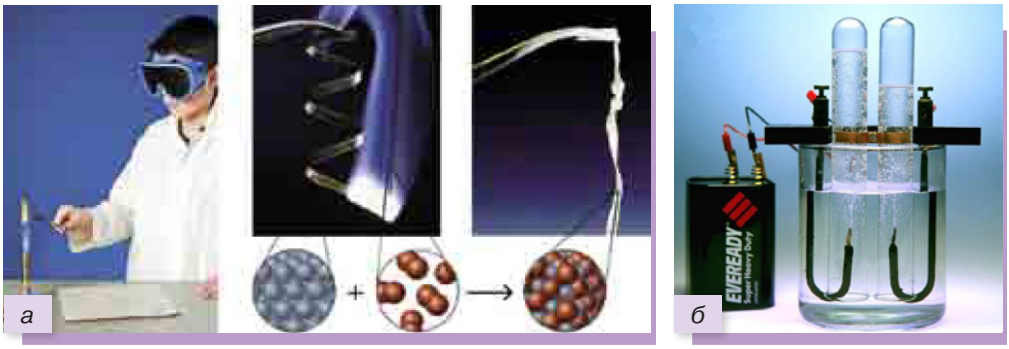
Мал. 4.7. Структурні частинки речовини

Від того, як розташовані та рухаються структурні частинки, речовини можуть перебувати у твердому, рідкому й газуватому станах. Теплові, електричні та оптичні властивості речовин, що не пов'язанні зі зміною їхнього хімічного складу, а також процеси переходу речовин з одного агрегатного стану в інший вивчає *фізика* (мал. 4.8).

Мал. 4.8. Випаровування (*а*) і конденсація (*б*) води — фізичні явища. Унаслідок переходу води до твердого стану (*в*) її об'єм збільшується. Під час усіх цих перетворень хімічний склад води не змінюється

Під час *хімічних* процесів між атомами та йонами руйнуються зв'язки, які з'єднують їх у молекули та кристали, *ядра* атомів і йонів при цьому *за-*

лишаються незмінними. Атоми та йони об'єднуються в нові молекули й кристали, унаслідок чого утворюються нові прості та складні речовини. Ці перетворення вивчає хімія (мал. 4.9).



Мал. 4.9. Горіння магнію (*а*) та електроліз води (*б*) — хімічні явища

У світі безліч речовин, і кожна з них має певний набір властивостей. Більшість речовин за певних умов можуть перебувати в різних агрегатних станах (твердому, рідкому, газуватому) та брати участь у хімічних реакціях, унаслідок чого утворюватимуться інші речовини. Усі вони — і реагенти, і продукти — «збудовані» із цеглинок Всесвіту[1] — хімічних елементів (кількість відкритих на тепер наблизилася до 120).

ЯК У НИХ РОЗІБРАТИСЯ, ЯКЩО ЇХ ПОНАД СОТНЮ?

А як дати раду безлічі простих і складних речовин, утворених ними? Ви впродовж трьох років вивчали властивості хімічних елементів та їхніх найважливіших сполук. Спробуймо узагальнити набуті знання у формі кількох важливих тверджень:

- *періодичність у хімії* — повторення хімічних елементів з подібними властивостями в їхньому природному ряду;
- *періодичний закон* установлює залежність властивостей хімічних елементів від значень протонних чисел їхніх атомів й об'єднує всі хімічні елементи в чітку наочну систему;
- *періодична система* хімічних елементів — це графічний вираз періодичного закону.

Пригадаймо фізичний зміст порядкового номера хімічного елемента в періодичній системі, номера групи й періоду, у яких він розташований:

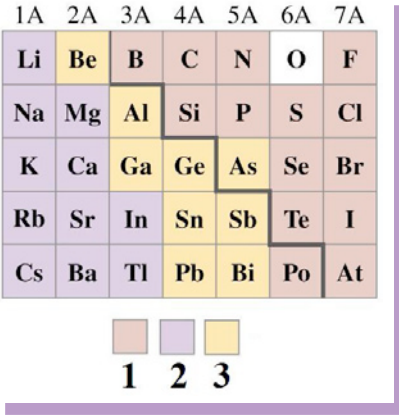
- *порядковий номер* хімічного елемента в періодичній системі дорівнює його *протонному числу* і, відповідно, кількості електронів навколо ядра;
- *номер періоду*, у якому розташовано хімічний елемент, дорівнює кількості енергетичних рівнів у його атомі;
- *номер групи* збігається з кількістю електронів на зовнішньому енергетичному рівні в атомах елементів головних підгруп.

[1] Саме так образно назвав хімічні елементи всесвітньо відомий письменник-фантаст і популяризатор науки Айзек Азімов.

Проаналізувавши малюнок 4.10, ви зможете схарактеризувати закономірності змін властивостей хімічних елементів залежно від положення елемента в періодичній системі (*зробіть це*).

Мал. 4.10. Закономірності змін властивостей хімічних елементів у періодичній системі

За результатами аналізу малюнка 4.11 ви зможете пояснити, як положення хімічного елемента в періодичній системі впливає на властивості його вищих оксидів та їхніх гідратів (*зробіть це*).



Мал. 4.11. Закономірності зміни в періодичній системі хімічного характеру оксидів та їхніх гідратів.
1. Кислотний характер.
2. Осно́вний характер.
3. Амфотерний характер

Проаналізувавши дані, наведені на малюнку 4.12, ви зможете пояснити, як змінюються осно́вні й кислотні властивості летких сполук з Гідрогеном залежно від положення хімічних елементів у періодичній системі (*зробіть це*).

	Група			
	4A	5A	6A	7A
2 період	CH_4 Не має кислотних або основних властивостей	NH_3 Слабка основа	H_2O —	HF Слабка кислота
3 період	SiH_4 Не має кислотних або основних властивостей	PH_3 Слабка основа	H_2S Слабка кислота	HCl Сильна кислота

Збільшення кислотних властивостей

Збільшення основних властивостей

Збільшення кислотних властивостей

Збільшення основних властивостей

Мал. 4.12. Хімічний характер летких сполук з Гідрогеном деяких хімічних елементів

Спробуймо узагальнити наші знання кількома важливими тезами:

1) якщо провести в періодичній системі діагональ «з лівого верхнього кута в нижній правий», то в нижньому лівому трикутнику будуть розташовані металічні елементи, а в правому верхньому — неметалічні. Уздовж діагоналі розташовано елементи, перехідні між металічними та неметалічними (мал. 4.13).

Металічні | Перехідні | Неметалічні

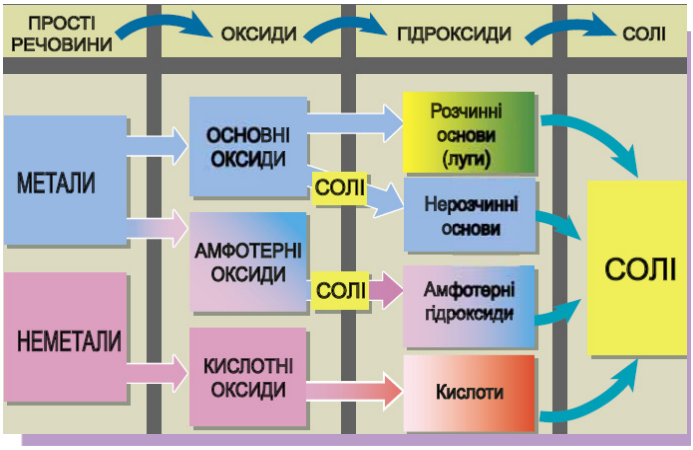
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac-Lr															

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Мал. 4.13. Металічні, неметалічні та перехідні між ними хімічні елементи в періодичній системі

2) Як метали, так і неметали взаємодіють з киснем з утворенням оксидів. Оксиди металічних елементів можуть виявляти основні, амфотерні та кислотні властивості залежно від природи металічного елемента та його ступеня окиснення в оксиді. Оксиди неметалічних елементів — кислотні, хоча деякі з них, наприклад нітроген(II) оксид та карбон(II) оксид, — несолетворні.

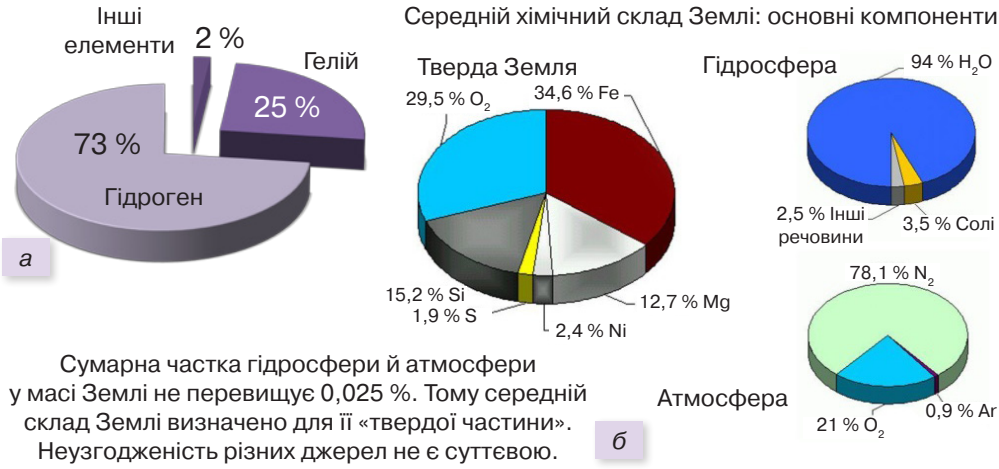
3) Частина основних і кислотних оксидів взаємодіє з водою. Унаслідок цього утворюються, відповідно, розчинні основи (луги) й кислоти. Решті основних і кислотних оксидів також відповідають основні оксиди й кислоти. Продуктами реакцій між металами й неметалами, основними, амфотерними й кислотними оксидами, основами й кислотами є солі. Цю класифікацію спрощено відображено на малюнку 4.14.



Мал. 4.14. Єдність і боротьба протилежностей у світі неорганічних речовин

З ДРІБНИХ ЧАСТИНОК

На певному етапі еволюції Всесвіту народилися наші Сонячна система й планета Земля, яким властивий певний хімічний склад (мал. 4.15).



Сумарна частка гідросфери й атмосфери у масі Землі не перевищує 0,025 %. Тому середній склад Землі визначено для її «твердої частини». Неузгодженість різних джерел не є суттєвою.

Мал. 4.15. Хімічний склад Сонця (*а*) й Землі (*б*)

Усе розмаїття навколишнього світу зумовлено тим, що атоми здатні сполучатися один з одним хімічними зв'язками й утворювати прості та складні речовини. Найпоширенішими й чи не найважливішими для життя на нашій планеті є вода й кисень — один зі складників повітря (мал. 4.16).

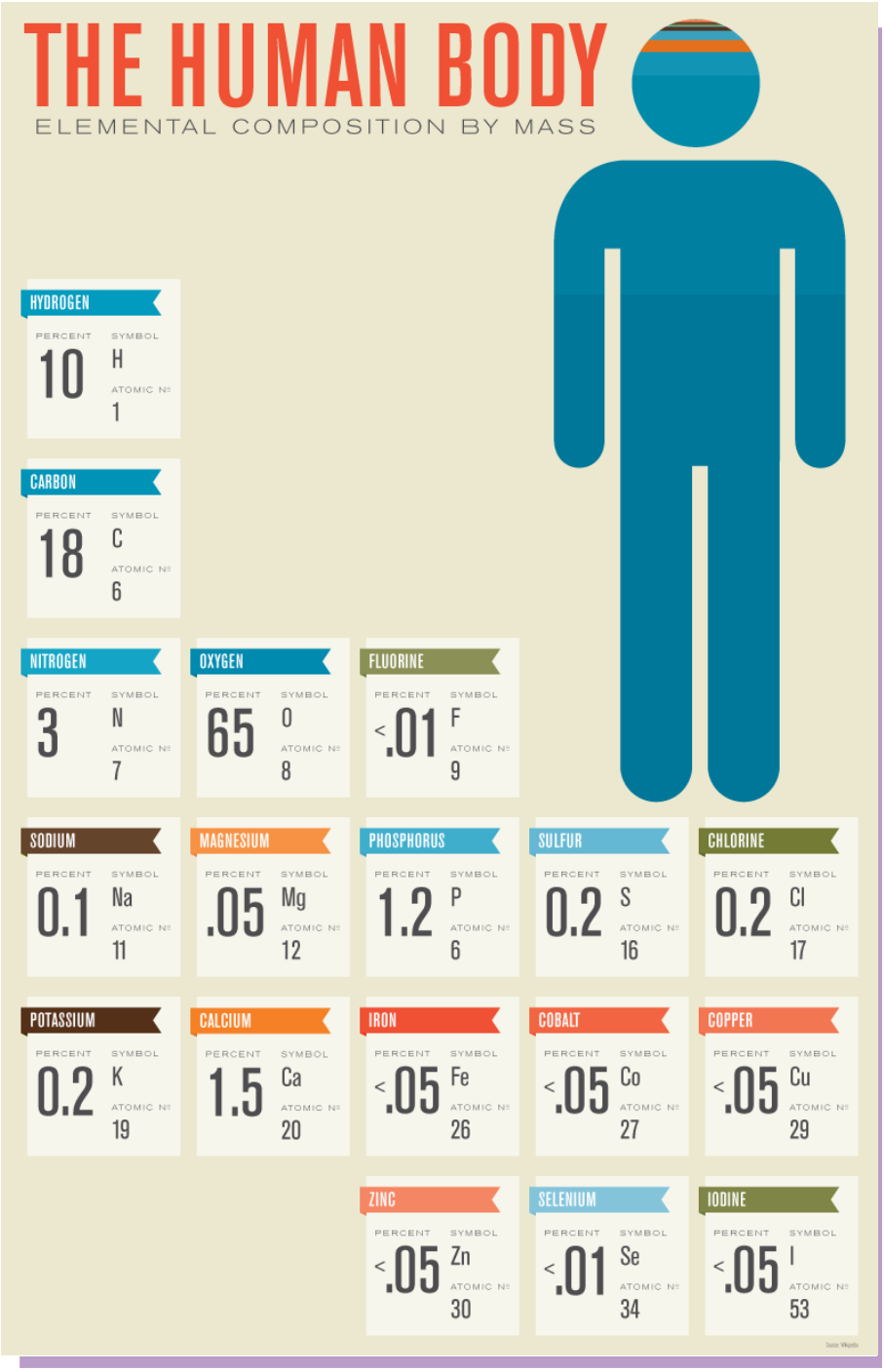
Проаналізуйте хімічний склад води та компонентів повітря, класифікуйте речовини на прості й складні:

4.16. Життєдайні вода й повітря — геосфери Землі. Запаси води й повітря в масштабі порівняно з розмірами планети

Звісно, цікаво проаналізувати елементний склад людського організму (мал. 4.17).

Сучасним науковцям відомо близько ста мільйонів речовин. Усіх їх вивчають, класифікують та дають їм певну назву. Також використовують термін *матеріал*. Це — речовина або суміш речовин, що використовують для виготовлення предметів. Матеріали можуть бути природного походження, наприклад, пісок, деревина, мармур, а також можуть бути створені людиною (цемент, скло, чавун, поліетилен).

Кожній речовині притаманні певні фізичні та хімічні властивості. До найважливіших **фізичних властивостей** належать *густина, температури кипіння й плавлення, ковкість, твердість, пластичність, здатність проводити тепло та електричний струм*.



Мал. 4.17. Уміст (масові частки, %) Гідрогену, Карбону, Нітрогену, Оксигену, Флуору, Натрію, Магнію, Фосфору, Сульфуру, Хлору, Калію, Кальцію, Феруму, Кобальту, Купруму, Цинку, Селену, Йоду в організмі людини

ТЕОРІЯ БУДОВИ РЕЧОВИНИ

На основі досліджень багатьох учених у XIX ст. було створено теорію будови речовини, так звану молекулярно-кінетичну теорію, в основу якої покладено такі положення:

- усі речовини складаються з дрібних частинок (атомів, молекул або йонів), між якими є проміжки;
- ці частинки неперервно й безладно (хаотично) рухаються й взаємодіють між собою.

Які явища підтверджують рух молекул? Безпосереднім експериментальним підтвердженням руху молекул у газах, рідинах і твердих тілах є явища дифузії (від лат. *Diffusion* — поширення) та броунівського руху. Явище дифузії зумовлене тим, що внаслідок руху молекули однієї речовини можуть проникати між молекулами іншої без жодного зовнішнього втручання.

Дифузія відбувається в газах, рідинах і твердих тілах. Відмінність у характері руху й взаємодії молекул у твердому, рідкому та газуватому станах зумовлює різну швидкість дифузії. Щоб аромат парфумів поширився кімнатою, потрібно кілька хвилин. Якщо налити в посудину томатного соку, а потім акуратно, щоб не відбувалося змішування, долити води, то лише через 2–3 дні частинки однієї рідини проникнуть поміж часинки іншої (мал. 4.18).

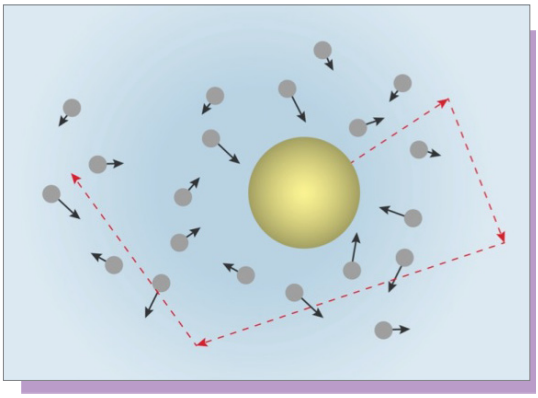
Мал. 4.18. Дифузія в рідинах

Спостерігати явище дифузії у твердих тілах складніше, але можливо.

Броунівський рух названо на честь ботаніка Роберта Броуна (1773 — 1858, Велика Британія), який у 1827 р. першим спостерігав його. Під час дослідження за допомогою мікроскопа спор плауна у воді він помітив, що вони рухаються.

Броун спочатку вважав, що спори рухаються, бо вони живі. Однак частинки продовжували хаотично рухатися навіть після кипятіння суміші. До того ж за збільшення температури суміші рух спор ставав інтенсивнішим. Згодом Броун спостерігав такий само хаотичний рух дрібних частинок інших речовин (органічних і неорганічних). Однак він не зміг пояснити цього явища. Броунівський рух вивчали багато вчених. Пояснили

це явище в 1905 — 1906 рр. фізики Альберт Енштейн (1879 — 1955, Німеччина, США) та Мар'ян Смолуховський (1872 — 1917, Польща). Явище броунівського руху пояснюють тим, що молекули рідини або газу зіштовхуються з мікрочастинкою (наприклад, спорою), яка перебуває в зависломy стані в рідині або газі. Молекули штовхають мікрочастинку з різних боків, і ці удари не компенсуються, оскільки кількість ударів-зіткнень щомиті з кожного боку різна. У результаті мікрочастинка рухається. Траєкторія її руху — ламана лінія (мал. 4.19).



Мал. 4.19. Схематичне зображення броунівського руху

Мікрочастинки рухаються завдяки хаотичному руху молекул і не можуть зупинитись. Дослідами доведено, що інтенсивність броунівського руху зростає з підвищенням температури.

Які явища підтверджують взаємодію молекул? Згідно з положеннями молекулярно-кінетичної теорії молекули взаємодіють одна з одною завдяки силам притягання та відштовхування. Ці сили мають електромагнітну природу, хоча молекула або атом є електрично нейтральною (незарядженою) частинкою речовини. Взаємодія молекул або атомів зумовлена взаємодією їхніх складників: електронів, що мають від'ємний електричний заряд, та ядер атомів, що мають додатний електричний заряд.

Вам, мабуть, доводилося бачити, що краплина води може розтікатися поверхнею, а може набувати форму кульки. Це зумовлено співвідношенням між силами притягання молекул рідини між собою та до молекул твердого тіла, з яким контактує рідина. Якщо молекули рідини притягуються одна до одної слабше, ніж до молекул твердого тіла, — то рідина розтікається (змочує поверхню). А якщо сили притягання між молекулами рідини більші, ніж сили притягання цих молекул до молекул твердого тіла, — то рідина набуває кулястої форми (не змочує поверхню).

Властивості речовини залежать від інтенсивності руху її молекул та від сил взаємодії між ними. Сили міжмолекулярної взаємодії (притягання й відштовхування) утримують молекули на певних відстанях одна від одної, а хаотичний рух молекул сприяє зміні цих відстаней. Спільна дія обох цих чинників визначає агрегатний стан кожної речовини.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Назвіть основні етапи розвитку фізики елементарних частинок.
2. Проінспектуйте своє помешкання. Які метали й неметали, складні речовини ви виявили? Вони мають атомну, йонну чи молекулярну будову? Складіть узагальнювальну таблицю.
3. Спрогнозуйте хімічні властивості простих речовин, вищих оксидів та їхніх гідратів для хімічних елементів № 3, № 13, № 33, № 35, № 38, № 53.
4. Поясніть, чим відрізняється: а) аніон Хлору від атома Хлору; б) атом Хлору від молекули хлору.
5. Проаналізуйте електронну будову атомів інертних елементів і поясніть, чим зумовлена хімічна пасивність інертних газів.
6. Якими спостережними даними можна підтвердити положення молекулярно-кінетичної теорії будови речовини?
7. Чи можна вважати безладний рух порошинок у повітрі броунівським?
8. Чому плями від розлитої кави легше видалити відразу й значно важче зробити це згодом?
9. Для надання міцності сталевим виробам їхній поверхневий шар насичують азотом (азотують) На якому фізичному явищі ґрунтується цей процес? Чому азотування здійснюють за високих температур?

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

1. Для вивчення броунівського руху фізик Жан Перрен (1870 — 1942, Франція, США) використовував частинки діаметром близько 0,1–1 мкм. У скільки разів діаметр цих частинок більший за діаметр молекул води? Уважайте, що середній діаметр молекули води приблизно дорівнює 0,25 нм. Чи вдасться спостерігати броунівський рух частинки розміром 0,1 мм?
2. Лінійний розмір молекули білка становить $40 \cdot 10^{-8}$ см. Якою була б кількість таких молекул у ряду завдовжки 1 см за умови, що розміри проміжків між молекулами дорівнюють розмірам самих молекул?
3. Маса молекули води $3 \cdot 10^{-26}$ кг. Визначте кількість молекул у воді об'ємом 60 см^3.

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Спостереження дискретності речовини

Розбризкайте (або налийте) трохи пахучої речовини в одному з кутків кімнати. Дочекайтеся появи запаху цієї речовини в іншому кутку кімнати (якщо працюєте вдвох, то можна стати на різних відстанях від пахучої речовини та порівняти час поширення запаху). Як можна пришвидшити процес дифузії в цьому досліді? Чи є дифузія основною причиною розповсюдження запаху в цьому випадку?

ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Теорії елементарних частинок: це фізика чи хімія?
- Великий адронний колайдер: що шукають фізики всього світу?

Б. 5. ЗАКОНИ ПРИРОДИ

А чи рахували ви, скільки законів вивчали на уроках фізики, хімії, біології, правознавства? Додайте до них ще закон Мерфі, закон бутерброда, закон Фінейгла[1]. Тоді ви матимете перелік законів, що описують природні явища, правові відносини, а також життєві ситуації, коли у вас щось не вдається. Поміж них є часткові, універсальні й навіть жартівливі. Ми будемо розглядати універсальні закони природи.

[1] Жартівливий універсальний філософський принцип, який полягає в тому, що якщо яка-небудь неприємність може трапитись, — вона таки трапиться. Бутерброд завжди падає маслом донизу — аналог закону збільшення ентропії, популярний поміж хакерів; англ. *Finagle* — шахраювати.

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Знати універсальні закони природи (збереження) та універсальні поняття й величини (енергія, маса, ентропія, рух, простір, час).

Мати уявлення про спеціальну й загальну теорію відносності, ентропію як характеристику напрямку і необоротності перебігу процесів у системі; про класичні властивості простору, часу та матерії.

Розуміти, що законам збереження підпорядковано всі процеси, що відбуваються як у неживій, так і в живій природі, і що вони є фундаментальними законами природи.

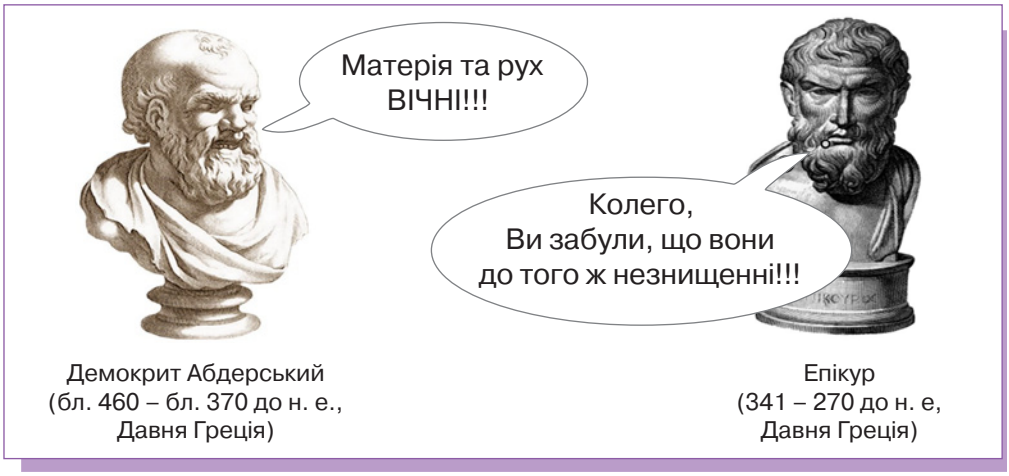
Пояснювати взаємозв'язок маси та енергії як наслідок теорії відносності.

Усвідомлювати єдність різноманіття об'єктів природи.

Оцінювати значення науки в пізнанні світу

УСЕ ТЕЧЕ, УСЕ ЗМІНЮЄТЬСЯ

Цей знаменитий вислів філософа Геракліта (544 — 483 до н. е., Давня Греція), свідчить про те, що все, що є у світі — змінюється. Подальше вивчення навколишнього світу показало, що будь-яка зміна, що відбувається в природі, є рухом матерії. Рух матерії може змінювати свою форму, але сам рух матерії не виникає й не зни щується (мал. 5.1).



Мал. 5.1. Філософи стародавнього світу — про рух і матерію

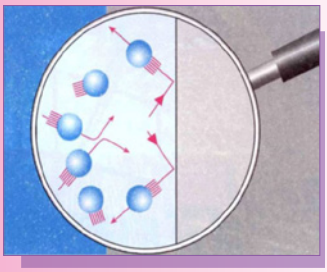
Поміж різних форм руху матерії виокремлюють кілька основних (мал. 5.2).

Механічний рух — переміщення тіл у просторі одне відносно одного.

«Щойно подумав про рух — й ось я вже рухаюся, ширяю в повітрі, наче санчата на льоду».

Річард Бах. Міст у вічність

Тепловий рух — безперервний хаотичний рух частинок речовини.



«Рух, броунівський рух, краплина води під мікроскопом, малюнок у підручнику фізики за шостий клас. Я на мить заплющив очі і побачив Хрещатик, повний люду...»

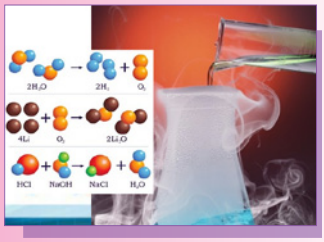
Володимир Дрозд. Самотній вовк

Електромагнітний рух зумовлений взаємодією електрично заряджених тіл і частинок.

«У природі існує могутня сила, слухняна, проста в користуванні. Вона застосовна в будь-яких випадках, і на моєму кораблі все підлягає їй. Від неї походить усе! Вона освітлює, опалює, надає руху машинам. Ця сила — електрична енергія!»

Жуль Верн.
20 000 льє під водою

Хімічний рух пов'язаний з руйнуванням зв'язків між атомами в молекулах та атомних кристалах, між йонами — у йонних кристалах — та утворенням нових зв'язків між структурними частинками речовин.



«Щоб отримати цей газ, необхідно мати у своєму розпорядженні два гази — водень і кисень; саме ті, які, об'єднуючись, утворюють воду. Видобувати їх можна в різні способи, однак найпростіший — це розкладання води електролізом».

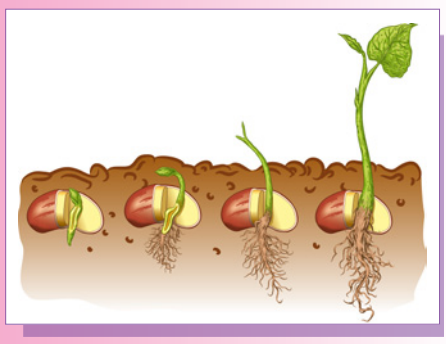
Григорій Адамов.
Таємниця двох океанів

Геологічна форма руху — широкий комплекс різноманітних і взаємопов'язаних переміщень і процесів, що відбуваються в надрах Землі й на її поверхні.

«Коли в Тихому океані рифотворні корали створюють материки, то в тутешніх морях ту саму роль відіграють вулканічні виверження. Подивіться, пане, погляньте-но, яка кипуча діяльність відбувається в морських глибинах!»

Жуль Верн.
20 000 льє під водою

Біологічний рух — рух частин організму одна відносно одної.



«...мабуть, це добре —
завжди поспішати,
бо смерть і вічність —
то уже не рух».

Ліна Костенко.
Останній концерт Ойстраха у Києві

Соціальний рух людей — процеси життя й розвитку людського суспільства

«Діла ростуть у невмолимі черги. Громадиться цеглинами життя. Як рух, як пруг, як вічний вир енергій, триває й визначається буття».

Євген Маланюк. Істотне

Мал. 5.2. Про види руху в науці й літературі

«Спізнаєш ти шляхи світил, збагнеш природи вічний рух, і в душу вступить повінь сил...»

Й. В. Гете. Фауст

«Так усе колись минеться, все, що вдіє людський дух, неодмінним зістається лиш невпинний, вічний рух...»

Володимир Самійленко. Дві планети

Якщо уважно придивитися, то ці форми руху відображають рух матерії в живій і неживій природі, але соціальна форма руху дещо виходить за межі природознавства, оскільки здійснюється не лише через предмети, створені людиною, а й через зміну самої людини, через її суспільний розвиток. Адже в процесі життєдіяльності людства перетинаються дві лінії розвитку: природна еволюція неживої й живої матерії і, так би мовити, «штучної матерії», яка лежить в основі суспільних явищ.

Світ, що існує, у своїй різноманітності єдиний і в єдності різноманітний. Виявом єдності світу є єдність його законів, універсальність властивостей. Загальною властивістю руху і взаємодії всіх видів матерії є енергія, яка, зрозуміло, як і рух, не виникає ні з чого й нікуди не зникає, вона може тільки переходити з одного стану в інший (закон збереження енергії).

Закони збереження — це група законів, які стверджують, що значення певних фізичних величин не змінюється в замкненій системі з її еволюцією.

Основними законами збереження є:

- закон збереження енергії;
- закон збереження маси (у класичній фізиці) й маси-енергії (у релятивістській);
- закон збереження імпульсу й моменту імпульсу;
- закон збереження електричного заряду;
- ряд законів збереження у фізиці елементарних частинок.

Універсальним є закон збереження енергії. Поняття енергії поєднує всі явища природи в одне ціле, є універсальною величиною.

Поняття енергії складалося в фізиці протягом багатьох століть. Його розуміння весь час змінювалося. Уперше термін «енергія» в сучасному фізичному розумінні застосував у 1808 р. фізик Томас Янг (1773 — 1829, Велика Британія). До того вживали термін «життєва сила» (лат. *vis viva*), який ще в XVII ст. ввів у обіг Готфрид Лейбніц (1646 — 1716, Священна Римська імперія), визначивши його як добуток маси на квадрат швидкості. У 1829 р. математик, механік та інженер Гаспар-Гюстав де Коріоліс (1792 — 1843, Франція) уперше застосував термін кінетична енергія в сучасному сенсі, а термін потенціальна енергія був запроваджений інженером-будівельником, фізиком і математиком Вільямом Ранкіном (1820 — 1872, Велика Британія) у 1853 р. На той час здобуті в дослідженнях у різних областях науки дані почали складати в загальну картину. Завдяки дослідам фізиків Джеймса Джоуля (1818 — 1889, Велика Британія), Юліуса фон Маєра (1814 — 1878, Німеччина), Германа Гельмгольца (1821 — 1894, Німеччина) було прояснено питання перетворення механічної енергії в теплову. В одній з перших робіт «Про збереження сили» (1847) Гельмгольц, із погляду ідеї єдності природи, математично обґрунтував закон збереження енергії та положення про те, що організм є фізико-хімічним середовищем, у якому зазначений закон точно виконується. Він сформулював «принцип збереження сили» й неможливість Perpetuum Mobile (вічного двигуна). Ці відкриття дали змогу сформулювати перший закон термодинаміки або закон збереження енергії. Поняття енергії стало центральним у розумінні фізичних процесів. Незабаром природно в поняття енергії було вписано термодинаміку хімічних реакцій та теорію електричних і електромагнітних явищ.

З побудовою спеціальної теорії відносності поняттю енергія надали нового змісту. Якщо раніше потенціальну енергію визначали з точністю до довільної сталої, то теорія Альберта Ейнштейна встановила зв'язок енергії з масою.

Квантова механіка збагатила поняття енергії квантуванням: для певних фізичних систем енергія може набувати лише дискретних значень. Крім того, принцип невизначеності встановив границі точності вимірювання енергії та її взаємозв'язок із часом. Теорема, доведена фахівчинею з математики Еммі Нетер (1882 — 1935, Німеччина), продемонструвала, що закон збереження енергії випливає з принципу однорідності часу, за яким фізичні процеси в однакових системах відбуваються однаково, навіть якщо вони починаються в різні моменти часу.

Відповідно до різних форм руху матерії, розрізняють кілька типів енергії: механічну, електромагнітну, хімічну, ядерну, теплову тощо. Цей поділ є досить умовним. Так, хімічна енергія складається з кінетичної енергії руху електронів і потенціальної енергії їхньої взаємодії та взаємодії з атомами.

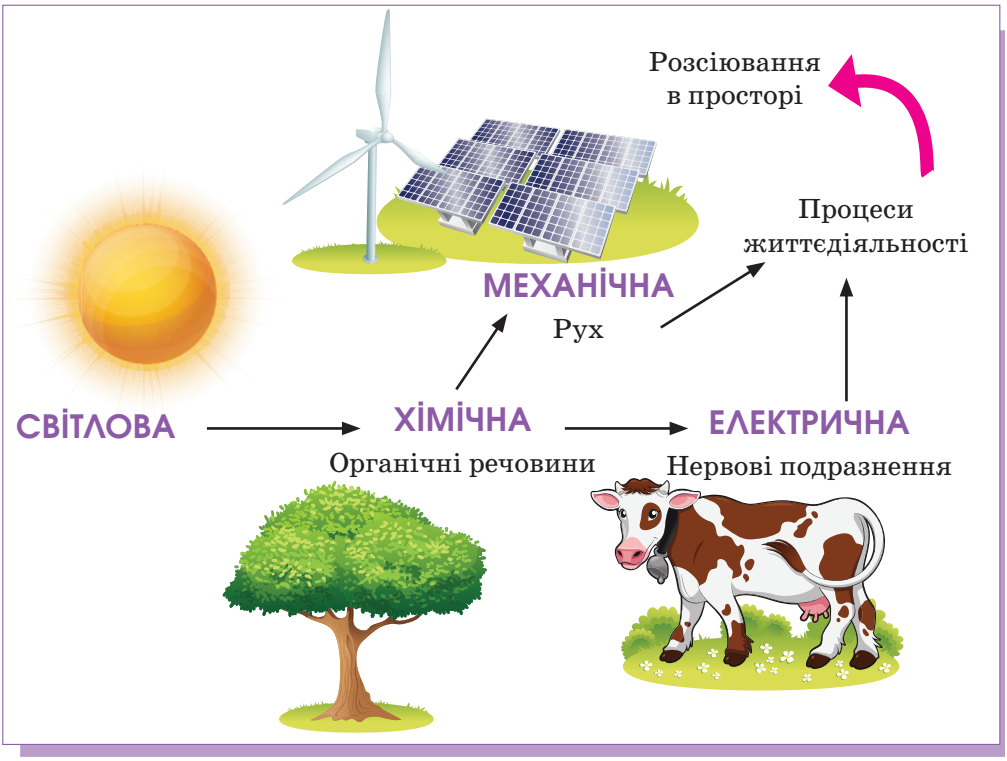
Якщо простежити «родовід» усіх цих різноманітних видів енергії, то виявиться, що всі вони є енергією сонячного випромінювання. Енергія космічного простору, що оточує нас, акумулює Сонце у вигляді енергії атомних ядер, хімічних елементів, електромагнітних і гравітаційних полів. Сонце забезпечує Землю енергією, що виявляється у вигляді енергії вітру та хвиль, приливів і відливів, у формі геомагнетизму, різного виду випромінювань (зокрема й радіоактивності), мускульної енергії представників тваринного світу. Геофізична енергія вивільняється у вигляді природних стихійних явищ (вулкани, землетруси, грози, цунамі), обміну речовин в організмах, що становлять основу життя, корисної роботи з переміщення тіл, зміни їхньої структури, якості, передавання інформації, накопиченні енергії в різного роду акумуляторах, конденсаторах, у пружній деформації пружин, мембран тощо (мал. 5.3).

Мал. 5.3. Перетворення енергії в природі

Енергія одного виду може перетворюватися на енергію іншого виду, наприклад, хімічна енергія може перетворюватися на теплову, теплова енергія — на механічну тощо.

Розгляньмо приклад. У молекулі хімічної сполуки атоми сполучені між собою хімічними зв'язками. Для того щоб розірвати хімічний зв'язок, потрібно витратити певну енергію, величина якої залежить від типу зв'язку. В одних молекулах енергія зв'язку більша, в інших — менша. Так, енергія зв'язку в молекулі карбон(IV) оксиду (CO_2) більша, ніж сумарна енергія атома Карбону у вугіллі (C) й атомів Оксигену в молекулі кисню (O_2). Тому можлива хімічна реакція горіння, унаслідок якої утворюється вуглекислий газ, а залишки хімічної енергії передаються поступальному тепловому руху молекул, тобто перетворюються на тепло. Виділене в результаті горіння тепло можна використати, наприклад, для нагрівання пари в паровій турбіні, яка під час обертання створює електрорушійну силу в генераторі — електроенергію. Електроенергія так само може бути використана для виконання механічної роботи, наприклад, підйому ліфта, або ж для освітлення, де електрична енергія перетворюється на енергію електромагнітних хвиль — світла.

Будь-які форми енергії перетворюються одна на одну за допомогою механічного руху, хімічних реакцій і електромагнітних випромінювань та врешті-решт переходять у тепло й розсіюються в навколишньому просторі (мал. 5.4.). Вияви цього явища — вибухові процеси, горіння, гниття, плавлення, випаровування, деформація, радіоактивний розпад.



Мал. 5.4. Взаємоперетворення різних форм енергії

Основна властивість організмів полягає в їхній здатності вловлювати, перетворювати та запасати енергію в різних формах. Закони, що визначають перетворення енергії, вивчає термодинаміка. Закони термодинаміки універсальні для живої та неживої природи.

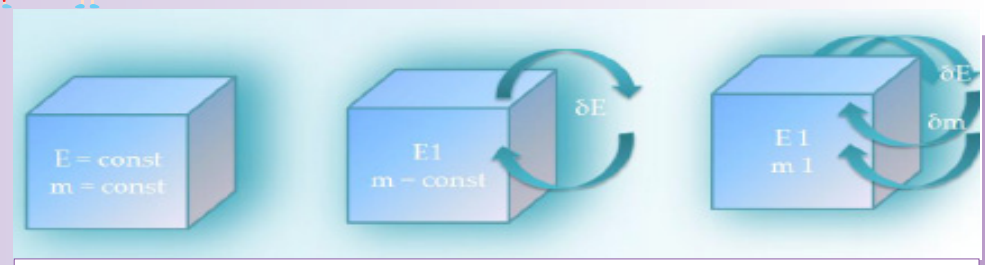
Будь-яку частину довкілля, яку ми хочемо дослідити й описати з погляду термодинаміки, називають системою. Наприклад, це може бути шматок льоду, газ у балоні, повітря в кімнаті, клітина, мітохондрія, серце, організм, біосфера. Схарактеризуємо термодинамічні системи.

Термодинамічна система — сукупність матеріальних об'єктів (тіл), відокремлена від навколишнього середовища. Виокремлють три види систем (мал. 5.5):

1) ізольована система — обмін ні речовиною, ні енергією з навколишнім середовищем не відбувається (математична модель, реально не існує);
2) закрита система — відбувається обмін енергією, але не речовиною з навколишнім середовищем (закрита посудина з речовиною);
3) адіабатно ізольована система — обмін енергією у вигляді теплоти з навколишнім середовищем не відбувається (термос);
4) відкрита система — відбувається обмін і енергією, і речовиною з навколишнім середовищем (жива система).

Для характеристики термодинамічної системи використовують фізичні величини, значення яких зумовлені її термодинамічним станом (температурою, тиском, ентропією тощо.

Організм — це відкрита система. І лише в окремих частинах клітини можуть існувати умови для замкнутої чи ізольованої систем.



Ізольована система не обмінюється ні енергією, ні масою з навколишнім середовищем	Закрита система обмінюється енергією, але не масою з навколишнім середовищем	Відкрита система обмінюється енергією та масою з навколишнім середовищем

Мал. 5.5. Види термодинамічних систем

Усі види діяльності клітини здійснюються за рахунок енергетичних затрат. Єдиним джерелом життя в організмі є енергія, яка міститься в хімічних зв'язках молекул жирів, білків і вуглеводів, що надходять до організму з їжею. У результаті процесів окиснення відбувається ступінчасте вивільнення цієї енергії, а потім частина її розсіюється у вигляді тепла, а частина — накопичується у вигляді *мікроергічних* зв'язків (це відбувається в молекулах АТФ — аденозинтрифосфатної кислоти).

Енергетичні процеси в організмі відбуваються у відповідності до першого закону термодинаміки, тобто закону збереження та перетворення енергії, що поширюється на теплові явища. Можливими формами передавання енергії від одного тіла до іншого є теплопередача та виконання роботи. Виконана робота й кількість теплоти, яку передано тілу, визначають зміну енергії тіла в будь-якому процесі. Іншими словами, якщо надати тілу (системі) деяку кількість теплоти ΔQ, то вона може бути витрачена на збільшення внутрішньої енергії ΔU та на виконання системою роботи ΔA проти зовнішніх сил, тобто: $\Delta Q = \Delta U + \Delta A$.

Завдяки терморегуляції температура тіла людини та теплокровних тварин підтримується сталою. Важливою частиною терморегуляції є теплообмін з навколишнім середовищем (теплопровідність, конвекція, випаровування, випромінювання / поглинання). Чимало факторів упливають на теплообмін людини з навколишнім середовищем:

- стан навколишнього середовища (вологість, температура, вітер та ін.);
- стан самої людини (у стані спокою або руху, збудженість);
- наявність і кількість одягу тощо.

Дані, що ілюструють надходження та вивільнення енергії людиною, наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Надходження та вивільнення енергії людиною

Надходження енергії	Вивільнення енергії
56,8 г білків — 995,4 Дж 137,0 г жирів — 5489,4 Дж 79,9 г вуглеводів — 1407,0 Дж	утрачання тепла — 5770,8 Дж випарування — 1713,6 Дж з видиханням повітря — 180,6 Дж з видільною системою — 96,0 Дж
Разом: 7891,8 Дж	**Разом: 7761,0 Дж**

Організм утрачає тепло переважно через шкіру. Якщо температуру, властивості шкіри та деякі інші чинники вважати незмінними, то втрати тепла прямо пропорційні площі поверхні організму. Отже, енергію, яку отримують за рахунок їжі, витрачають на тепловіддачу з поверхні тіла та на енергію, необхідну для руху. Мінімальна кількість їжі має бути прямо пропорційною площі поверхні тіла.

Теплопровідність, як один зі способів теплопередачі, відіграє суттєву роль у життєдіяльності організму, зокрема сприяє вирівнюванню температур у різних його частинах, залишивши невелику різницю між поверхнею шкіри та внутрішніми органами й тканинами.

Велике значення має зменшення теплообміну в поверхневому шарі, чого тварини досягають за допомогою волосяного покриву, а люди — використанням одягу. Такі покриви утворюють повітряний шар, який має низьку теплопровідність.

Перетворення енергії в живій клітині. Зелене листя, що поглинає сонячні промені, здійснює фотосинтез, під час якого енергія світла перетворюється на хімічну енергію, яку рослини «запасають» в органічних сполуках, наприклад у глюкозі.

Хімічна енергія глюкози перетворюється в процесі клітинного окиснення частково в тепло, а частково — в іншу форму хімічної енергії, в енергію макроергічних зв'язків АТФ — аденозинотрифосфатної кислоти. За рахунок гідролізу АТФ може відбуватися перенесення речовин з області з нижчою концентрацією в область із вищою концентрацією (осмотична робота), перенесення йонів в область вищого електричного потенціалу (електрична робота); в організмі тварини — скорочення м'язів (механічна робота). При цьому частина хімічної енергії АТФ перетворюється на осмотичну, електричну та механічну енергію.

Відбувається кругообіг енергії в природі, для якого характерним є те, що в космічному просторі реалізується не лише хаотичність, а й обернений процес — упорядковування структури.

ХАОС & ПОРЯДОК

Якщо вже згадали про хаос і порядок, то поговоримо про них. Виявляється, є величина, яка їх характеризує — *ентропія* — міра безладу й характеристика стану. Уведено це поняття було в епоху розвитку термодинаміки. Закон збереження й перетворення енергії стверджує, що кількість енергії за будь-яких її перетворень незмінна, але нічого не говорить про те, які енергетичні перетворення можливі. Однак багато процесів, цілком припустимих з погляду закону збереження енергії, ніколи не відбуваються насправді. Наприклад, нагріте тіло під час поступового охолодження передає свою енергію холоднішим тілам навколо себе. А от обернений процес передавання теплоти від холодного тіла до гарячого самовільно відбуватися не може. Можна навести безліч таких прикладів.

Зазвичай уважають, що внаслідок переходу системи з більш упорядкованого в менш упорядкований стан ентропія збільшується. Що більшою є ентропія, то невпорядкованіша (хаотичніша) система.

Наочно пояснити ентропію можна так. Поки вчитель або вчителька перебуває в навчальному кабінеті, ентропія класу мінімальна. Клас у порядку: усі сидять на місцях, самовільно не розмовляють. Якщо вчитель виходить за межі кабінету, — ентропія класу зростає: учні починають ве-

штатися кабінетом, розмовляти тощо. І що довше система перебуває в безконтрольному стані, то більшим буде безлад (ентропія).

З огляду на таке визначення, зрозуміло, що ентропія зростає в результаті перетворення твердих речовин на рідини, рідин на гази, а також під час розчинення речовин. У всіх цих випадках спостерігають зменшення порядку в розташуванні частинок системи. Навпаки, під час конденсації та кристалізації ентропія речовин зменшується. Прикладом хімічної реакції зі зменшенням ентропії є реакція між газоподібним гідроген хлоридом та амоніаком — із двох «невпорядкованих» початкових речовин утворюється «упорядкований» продукт реакції — твердий амоній хлорид. Обернена реакція, тобто розкладання амоній хлориду на гідроген хлорид та амоніак самочинно не відбуватиметься, вона проходитиме лише за постійного надходження енергії.

Отже, в ізольованій системі загальна зміна ентропії завжди позитивна, тобто необоротні термодинамічні процеси відбуваються в напрямі зростання ентропії. (так ще формулюють другий закон термодинаміки у фізиці).

Основними тенденціями зміни ентропії є:

- в ізольованій системі, у якій проходять оборотні процеси, ентропія зберігає стале значення;
- в ізольованій системі, у якій проходять необоротні процеси, ентропія зростає;
- за термодинамічної рівноваги ентропія прямує до максимального значення.

Зміна ентропії у відкритій системі може відбуватися за рахунок або взаємодії системи з навколишнім середовищем, або зміни ентропії в самій системі.

Якщо в системі відбуваються оборотні процеси, зміна ентропії дорівнює нулю. У реальних системах відбуваються необоротні процеси, унаслідок яких ентропія збільшується. Щоб зменшити ентропію, потрібно піддати систему зовнішній дії та виконати над нею роботу. Наприклад, ентропія в навчальному кабінеті безперервно зростатиме, поки не увійде вчитель або вчителька та не попросить учнівство трохи вгамуватися. Необхідність виконати роботу означає також, що будь-яка система чинитиме опір зменшенню ентропії та наведенню ладу.

Реальні біологічні системи не перебувають у стані рівноваги, оскільки в них відбуваються процеси, супроводжувані переходом частини енергії впорядкованого процесу в енергію невпорядкованого процесу, наприклад, у теплоту або випромінювання.

Кількість теплоти, що віддає тіло, збільшується за рахунок конвекції. Конвекція сприяє втратам тепла за рахунок випромінювання з поверхні шкіри (із зовнішньої частини одягу та деяких відкритих ділянок поверхні тіла). Так, за температури 18 °C людина без одягу за 1 с втрачає 20 кал, а в бавовняному одязі — лише 8 кал.

Оскільки випаровування відбувається з поверхні шкіри та легень, то в середньому за добу людина виділяє з повітрям, що видихає, водяну пару масою близько 350 г; з поверхні шкіри (за 16 — 18 °С) — піт масою близько 500 г. Разом людина втрачає теплоту кількістю 2 МДж. Випаровування поту охолоджує тіло. На поверхні шкіри є величезна кількість потових залоз (на 1 $см^2$ шкіри їх 90; на підошвах ніг і долонях рук — набагато більше).

Потові залози, подібно до кровоносних судин, контрольовані центральною нервовою системою (ЦНС). Якщо температура крові, що надходить у нервові центри, стає вищою за нормальну температуру тіла, то нервові клітини цих центрів збуджуються та посилають накази, що приводять у дію потові залози. Що вища температура навколишнього повітря і воно сухіше, то швидше відбувається випаровування, і, як наслідок, охолодження тіла.

Оскільки жоден організм не є ізольованою системою, бо він з їжею (а рослини й зі світлом) споживає вільну енергію, яку згодом витрачає. Ізольованою можна вважати систему організм — середовище. Усередині такої системи в її «живій» частині, тобто в організмі, вільна енергія може збільшуватися, а ентропія — відповідно зменшуватися, але за сталої умови одночасного зменшення й збільшення їх у неживій частині системи. Так, наприклад, розвиток зелених рослин на Землі відбувається завдяки збільшенню ентропії в системі Сонце—Земля. Відомо, що в стані спокою, під час виконання роботи організм може рости й розвиватися з одночасним виділенням теплоти. Ця теплота є результатом окиснення речовин, що містяться в їжі. Ріст ентропії, що супроводжує цей процес, значно більший від зниження ентропії внаслідок росту організму та диференціювання його клітин.

Цікаво проаналізувати розвиток подій (зростання або зменшення ентропії) у Всесвіті. Як ми щойно з'ясували, будь-яка система, що не обмінюється енергією з іншими системами (для Всесвіту в цілому такий обмін, очевидно, неможливий), прагне до найвірогіднішого рівноважного стану — до стану з максимумом ентропії, за якого теплота рівномірно розподілиться між усіма тілами. А що це означає для Всесвіту? Це означає його «теплову смерть». Усесвіт продовжуватиме існувати, він не зникне, не перетвориться на ніщо, але всі термодинамічні процеси в ньому повністю припиняться.

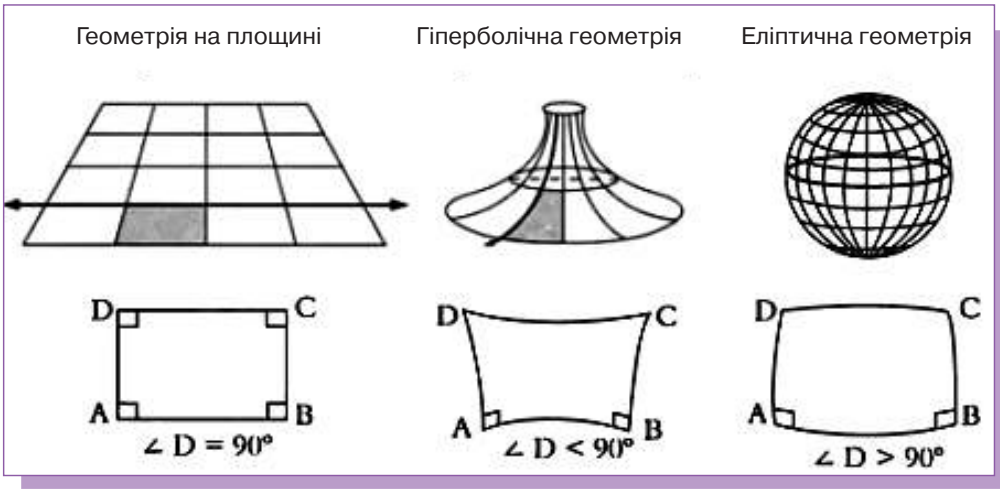
Висновок про теплову смерть Всесвіту було сформульовано Рудольфом Клаузіусом (1822 — 1888, Німеччина) у 1865 році. Ані довести, ані спростувати гіпотезу теплової смерті Всесвіту сучасними науковими силами не є можливим, оскільки наші знання про нього все ще мізерно малі, і ми не можемо із цілковитою впевненістю стверджувати, що Всесвіт не перебуває під дією зовнішніх сил, або його можна розглядати як замкнуту термодинамічну систему. Однак саме гіпотеза «теплової смерті» стала першим кроком до усвідомлення можливих варіантів розвитку Всесвіту.

ПРОСТІР & ЧАС

До фундаментальних й універсальних понять відносимо простір і час. Немає об'єкта, який перебував би поза простором і часом, як немає простору й часу самих по собі, поза матерією, що рухається. Простір і час існують об'єктивно й незалежно від свідомості, однак зовсім не від матерії.

Прагнення глибоко пізнати суть простору й часу пронизує всю матеріальну й духовну культуру людства. Дуже важливу роль у розвитку по-

няття простору відіграло створення в античну епоху Евклідом геометрії. Простір ототожнювали з евклідової геометрією аж до XIX ст. Новий етап розвитку уявлень про простір зумовлено створенням неевклідової геометрії Миколою Лобачевським (1792 — 1856, Росія), Карлом Фрідріхом Гауссом (1777 — 1855, Німеччина), коли було з'ясовано, що евклідова геометрія не є єдино можливою (мал. 5.6).



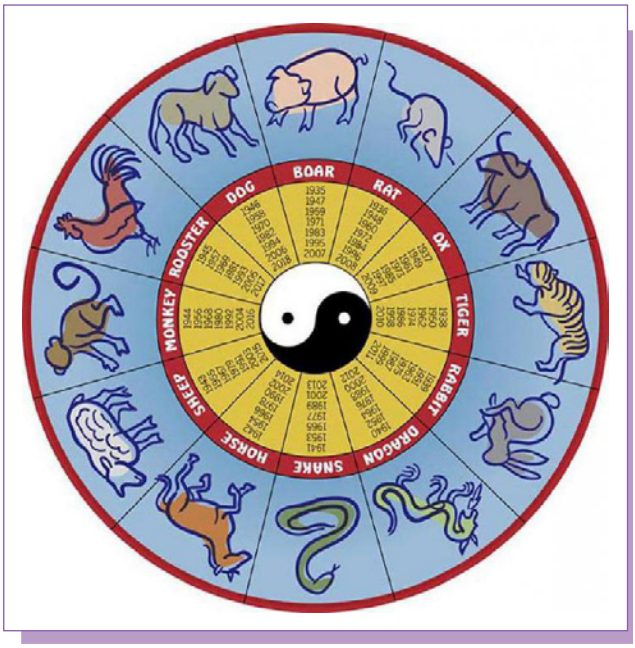
Мал. 5.6. Розмаїття геометрій

Після цього швидко було розроблено загальну математичну теорію неевклідової геометрії та сформульовано питання про те, яка саме геометрія характеризує простір нашого світу. Паралельно з розвитком математичних теорій простору у фізиці в 1916 р. Альберт Ейнштейн (1879 — 1955, Німеччина, Швейцарія, США) створив теорію відносності, яка складається з двох пов'язаних між собою теорій: спеціальної й загальної теорії відносності. Спеціальна теорія відносності переконливо довела, що численні просторово-часові властивості, які вважали незмінними, абсолютними, насправді є відносними, релятивними (лат. relativus — відносний). У спеціальній теорії відносності втрачали абсолютний характер такі просторово-часові властивості, як довжина, часовий інтервал, одночасність. Виявлено, що всі ці властивості залежні від взаємного руху матеріальних об'єктів, якщо вони рухаються зі швидкістю, що наближається до швидкості світла (300 тис. км/с). У загальній теорії відносності встановлено залежність властивостей простору-часу від гравітаційних взаємодій між матеріальними об'єктами. Загальна теорія відносності встановлює, що геометричні властивості простору-часу залежать від розподілу в них гравітаційних мас. Поблизу масивних об'єктів геометричні властивості простору починають відхилятися від евклідових, а темп плину часу сповільнюється. Отже, теорія відносності, по-перше, спростувала абсолютність часу й абсолютність простору; по-друге, розкрила залежність просторово-часових властивостей від характеру руху та взаємодії матеріальних систем; по-третє, показала неспроможність суб'єктивістських, апріорних

уявлень щодо сутності простору й часу. Сам Альберт Ейнштейн на запитання про суть теорії відносності відповів: «Суть така: раніше вважали, що якби якимсь чином усі матеріальні речі раптово зникли, то простір і час залишилися б. Згідно з теорією відносності разом з речами зникли б і простір, і час».

Сучасні проблеми осмислення простору містять як традиційні проблеми, так і нові, що виникли в процесі розвитку науки. До них, зокрема, належать проблеми розмірності простору, можливої обмеженості (замкнутості) простору Всесвіту, безперервності або ж дискретності простору на рівні мікросвіту.

Уявлення про час також еволюціонувало. На ранніх етапах розвитку людства поняття часу мало циклічний характер (циклічний час), що було зумовлено винятковою важливістю для людського існування циклічних процесів: річного та добового циклів, циклу обертання Місяця і, можливо, внутрішніх біоритмів організму та зміни поколінь. Реліктом такого циклічного розуміння часу є східний календар (мал. 5.7).



Мал. 5.7. Східний календар

Пізніше поступово було вироблено лінійне уявлення про час. Водночас роль періодичних (циклічних) процесів у розумінні часу й дотепер є досить значною, оскільки саме періодичні процеси є основою еталонів вимірювання часу.

В історії розвитку поняття часу можна виокремити кілька етапів. Спочатку це поняття розглядали в рамках міфопоетичної та релігійно-міфологічної картини світу. В Античності час став предметом філософського міркування таких учених, як Геракліт, Парменід (515 — 480 до н. е.), Де-

мокріт, Аристотель. На цьому етапі виникли два протилежні підходи до розуміння часу (як і простору): абсолютного й відносного.

У середні віки увагу було зосереджено переважно на зв'язку поняття часу з богословськими проблемами, передусім з проблемою створення світу.

Пізніше одним з основних рушійних факторів аналізу часу стало теоретичне природознавство, оскільки саме в основні рівняння фізичних теорій (насамперед класичної механіки) час уведено як фундаментальний параметр, що характеризує будь-які процеси та явища світу. У цей період набула особливого значення конфронтація абсолютної й відносної концепцій часу.

Розвиток фізики на початку XX ст. привів до відкриття фундаментального зв'язку між простором і часом (спеціальна теорія відносності). Відтоді проблему часу почали розглядати в загальнішому контексті проблеми «простір-час». Найважливішим результатом стала істотна зміна класичного уявлення про абсолютну одночасність подій. Виявлено, що події, які відбуваються в різних точках простору й одночасні в одній системі відліку, є неодночасними в інших системах відліку, що рухаються відносно першої. Перехід до розгляду єдиного простору-часу не означав повного розчинення часу в просторі.

Іншим важливим аспектом аналізу часу стало обговорення проблеми спрямованості часу. По-перше, вона пов'язана з другим законом термодинаміки та необоротністю процесів, що було виявлено в дослідженнях з теорії самоорганізації Іллею Пригожиним (1917 — 2003, Росія, Бельгія) та його учнями й послідовниками,). По-друге, спрямованість часу може розглядати в рамках відносин «причина-наслідок»: за Г. Рейхенбахом (1891 — 1953, Німеччина) причина завжди передує наслідку. По-третє, спрямованість часу аналізує сучасна космологія, яка поширила її на глобальний космологічний процес розширення Всесвіту.

Крім точних наук, поняття часу інтенсивно розглядають у біології (біологічний час) і в дисциплінах, які вивчають суспільство (історичний час, соціальний час). Успіхи хроногенетики (науки про успадкування біологічного часу) та хронобіології (науки про біологічні ритми) привели до того, що проблема часу для біолога це, насамперед, проблема біологічного годинника. Внутрішній час відрізняється від астрономічного функціонально — це радше оператор, а не параметр. Власний час, власний вік організму можна відраховувати за вживанням організмом кисню. Власний вік організму можна також виміряти за кількістю заново утворених клітин: за площею заживання ран, ростом певних органів тіла (наприклад, розмір кришталика ока у ссавців уважають одним з найліпших параметрів біологічного віку), кількості клітин у дріжджів, що відокремилися, які є їхньою єдиною стабільною віковою характеристикою на відміну від інших хронологічних дат.

У хімії є окремий розділ *фемтохімія* (англ. femtochemistry), де вивчають явища, що відбуваються за дуже короткий час — 10–100 фс (1 фемтосекунда дорівнює 10^{-15} с), тобто в шкалі часу коливань хімічних зв'язків.

Соціальний простір — частина біосфери, космосу. Її характеризує людський сенс, що відображено у світогляді людей певної епохи. У міфології давніх слов'ян коло та квадрат, які вони широко використовували в життєдіяльності, були не тільки символічними іпостасями Космосу, а й допомагали людям орієнтуватися в просторі, упорядковували просторовий світ, у якому жила людина, і протиставляли його всьому іншому, ворожому й незрозумілому їй світу.

> Час існує для того, щоб все не сталося відразу.
> *Альберт Ейнштейн*

МАСА & ЕНЕРГІЯ

Якщо пригадати другий закон Ньютона, можна почати розмову про ще одну важливу фізичну величину — *масу*.

Згідно із цим законом, якщо тіло під дією деякої сили набуває деякого пришвидшення, то його масу визначає відношення цієї сили до цього пришвидшення. Таке розуміння маси справедливе в усіх інерційних системах відліку, тобто в таких, у яких тіло, якщо немає сил, які діють на нього, перебуває в стані спокою або рухається рівномірно та прямолінійно. Енергія, що характеризує рухоме тіло, пропорційна його масі та квадрату швидкості руху тіла $E_к = \frac{mv^2}{2}$, нерухоме тіло кінетичної енергії не має.

У спеціальній теорії відносності Ейнштейном відкрито нове співвідношення між енергією спокою та масою тіла $E = mc^2$. Воно означає, що навіть у стані спокою тіло має певну енергію, яка теж пропорційна його масі та помножена на квадрат швидкості руху світла у вакуумі.

Найважливіше полягає в тому, що ця формула розкриває можливість взаємних перетворень енергії та маси, або, що те саме, можливість перетворень енергії спокою на інші види енергії.

Взаємне перетворення маси та енергії, яке описує формула Ейнштейна, лежить в основі величезного розмаїття процесів у природі та техніці. Так, маса тіла зростає й тоді, коли його в той або інший спосіб нагрівають: до маси тіла додається масовий еквівалент теплової енергії (енергія, поділена на квадрат швидкості світла). Тож, наприклад, маса гарячої праски більша за масу холодної. Зауважимо, що в звичних для нас умовах ці зміни практично не можна відчути. Взаємозв'язок маси та енергії набуває суттєвого значення в мікросвіті, коли частинки рухаються зі швидкістю, що наближається за значенням до швидкості світла у вакуумі.

Найбільше вражає такий приклад — перетворення маси в енергію під час ядерних реакцій. Про це вперше заговорили через два десятиліття після створення Ейнштейном теорії відносності, а практично втілили в ядерній зброї та енергетиці.

Тепер усім відомо, що зорі світять за рахунок ядерних реакцій; у надрах Сонця відбувається ядерна реакція синтезу атомів Гелію з атомів Гідрогену. Енергія виділяється й у ядерних реакціях розпаду, — наприклад, розпаду атомів Урану внаслідок поглинання повільних нейтронів. У всіх випадках виділення енергії пояснюють тим, що маса продуктів ядерної

реакції менша від початкової маси частинок, що вступили в реакцію. Різниця мас перетворюється на кінетичну енергію продуктів реакції.

Граничний випадок перетворення маси та енергії — повний перехід усієї маси в енергію. Це можливо, якщо частинка стикається з античастинкою, — наприклад, електрон з позитроном. Частинка й античастинка внаслідок цього зникають (анігілюють) і породжують фотони. Оскільки фотон — це частика, що не має маси, сумарна маса частинки й античастинки цілком переходить у кінетичну енергію фотонів. Це реальний фізичний процес, давно вже вивчений не тільки теоретично, а й експериментально, що особливо важливо. У таких експериментах формулу Ейнштейна перевірено та підтверджено з усією можливою точністю.

Відкриття ядерних джерел енергії нерідко порівнюють з підкоренням вогню печерною людиною. Згідно з археологічними даними, добувати вогонь навчилися в епоху пізнього палеоліту, і це досягнення, як уважають, остаточно відокремило людину від тваринного царства. Зоряне небо та вогонь — це те, що здавна бентежило людину, займало її уяву й розум. Світло зір і світло вогню мають одну природу — це результат перетворення маси в енергію. Про зорі ми вже згадували, докладніше про них поговоримо згодом. А що нам відомо про вогонь?

Фізичну суть вогню насправді розкрила лише теорія відносності. Вогонь — результат хімічної реакції горіння. Як і в ядерній реакції, під час горіння сума мас продуктів реакції менша від початкової маси пального й окиснювача (останнім найчастіше є кисень повітря). Різниця початкової й кінцевої мас перетворюється в кінетичну (теплову) енергію продуктів реакції. Продукти реакції й розпечені ними до високих температур макроскопічні частинки вуглецю утворюють полум'я внаслідок випромінювання видимого оком світла.

В енергію вогню переходить лише дуже мала частка маси пального й кисню. Річ у тім, що в хімічних реакціях беруть участь не ядра, а атоми, молекули, йони. Різниця маси в молекул набагато менша, ніж у ядер. Після об'єднання атомів у молекулу або перетворення одних молекул на інші виявлено зміну маси в десятки та сотні мільйонів разів меншу, ніж у ядерних реакціях. Наприклад, під час горіння метану в газовому пальнику перетворюється в тепло лише одна десятимільярдна частка маси спокою газу. Коли в топці спалюють тонну вугілля, в енергію переходить близько однієї тритисячної частки вугілля й використаного для горіння кисню загальною масою 1 грам. У вогні хімічних реакцій відбувається те саме ейнштейнівське перетворення маси в енергію. Отже, ви надзвичайно легко можете пересвідчитися в перетворенні маси в енергію, запаливши сірник.

Якби не було цього взаємозв'язку маси та енергії, сучасна цивілізація була б неможливою. Однак і це ще не все. Саме життя на Землі немислиме без перетворення маси в енергію. Цей процес відбувається в нас самих, коли ми просто дихаємо. Під час дихання в організм надходить кисень повітря, який організм використовує для безперервного окиснення органічних речовин (сполук Карбону). У результаті цього «внутрішнього горіння» виділяється енергія. Усі теплокровні тварини виробляють тепло в

таких хімічних реакціях і черпають з них енергію для повсякденної активності.

Повернімося насамкінець до фундаментальної фізики. Властивість маси перетворюватися в енергію (і навпаки) не була відома в часи ньютонівської класичної фізики. Цей грандіозний резервуар енергії в природі відкрила теорія відносності.

Коли ми досліджували питання елементарних частинок, то не запитували, які процеси відбуваються всередині протона та поміж нуклонами під дією ядерних сил. Звідки ж виникає маса в елементарних частинок — складників тіл природи? Чому їхні маси такі різні? Наприклад, вільний електрон приблизно у дві тисячі разів легший за вільний протон. На ці запитання немає однозначної відповіді. Проблему фізичної природи маси ще далеко не вичерпано. Від часів Ньютона вона була й залишається чи не найгострішою. (Нагадуємо, що масу тіла розглядають і як інерціальну, і як гравітаційну його властивість.)

У фізиці елементарних частинок є гіпотеза, що елементарні частинки набувають маси завдяки взаємодії з деякою особливою елементарною частинкою — бозоном Гіґґса (Пітер Гіґґс, 1929 — 2018, Велика Британія). Перевірці цієї ідеї присвячено низку експериментів на Великому адронному колайдері в Європейському центрі ядерних досліджень (ЦЕРН).

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Проаналізуйте: а) білий вірш, складений видатним фізиком Річардом Фейманом (1918 — 1988, США); б) уривок із драми-феєрії Лесі Українки «Лісова пісня» — і поясніть їх з огляду на опрацьований матеріал блоку «Закони природи»:

а) Наприклад, я стою один на березі моря й починаю думати.
На берег набігає безліч хвиль,
Незліченна кількість молекул,
Кожна з яких бездумно зайнята своєю справою;
І таких молекул трильйони, вони відокремлені одна від одної,
Однак при цьому рухаються в унісон й утворюють білі баранці хвиль.
Зі століття в століття,
Коли ще не було очей, які могли це побачити,
З року в рік
Ці хвилі билися о берег так само, як і зараз.
Для кого? Для чого?
На мертвій планеті,
Де не було життя,
Без спочинку,
Змучені енергією,
Яку непомірно витрачає сонце,
Що проливає її в космічний простір.
Щось зовсім крихітне змушує море ревіти.
Глибоко в морі
Всі молекули повторюють
Візерунки одна одної,
Поки не утворяться нові й складніші молекули.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

Вони створюють інші молекули, подібні до себе,
І починається новий танець.
Збільшуються за розміром та складністю.
Живі істоти,
Маси атомів,
ДНК, білок
Танцюють ще складніший танець.
І ось з колиски,
На суху землю
Ступають
Атоми, що мають свідомість;
Матерія, наділена цікавістю.
Стою на березі,
Дивуюся дивовижному: я,
Всесвіт атомів,
Атом у Всесвіті.

б) О, не журися за тіло!
Ясним вогнем засвітилось воно,
чистим, палючим, як добре вино,
вільними іскрами вгору злетіло.
Легкий, пухкий попілець
ляже, вернувшися, в рідну землицю,
вкупі з водою там зростить вербицю, —
стане початком тоді мій кінець.
Будуть приходити люди,
вбогі й багаті, веселі й сумні,
радощі й тугу нестимуть мені,
їм промовляти душа моя буде.
Я обізвуся до них
шелестом тихим вербової гілки,
голосом ніжним тонкої сопілки,
смутними росами з вітів моїх.

2. У науково-популярній книжці «Історія свічки» її автор Майкл Фарадей стверджував: «Явища, які спостерігають під час горіння свічки, такі, що немає жодного закону природи, — якого б це так чи інакше не стосувалося». Наведіть якомога більше аргументів, які доводять слушність думки видатного фізика.

3. У наукових текстах трапляється твердження: «Простір і час — форми існування матерії». Як би ви це пояснили?

4. Чим відрізняються поняття «тривалість події» та «послідовність події»?

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

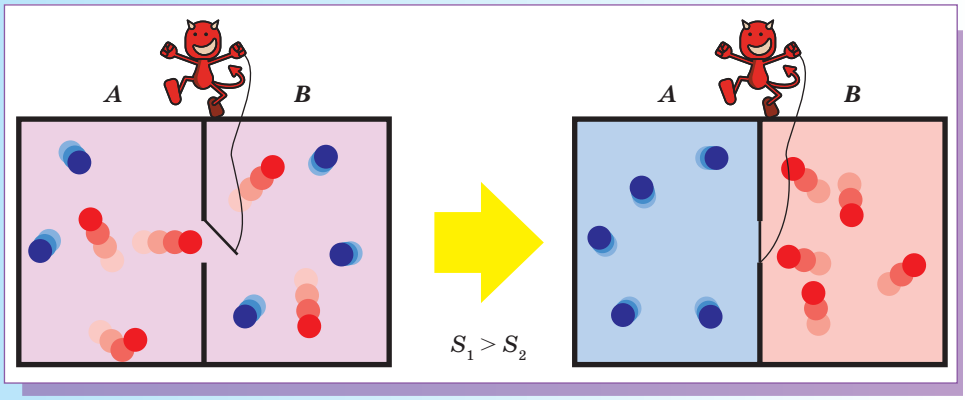
ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Демон Максвелла (розроблення та випробовування моделі).

Щоб підкреслити статистичну природу другого закону термодинаміки Джеймс Максвелл у 1867 р. запропонував уявний експеримент, який ілюстрував удаваний парадокс другого закону термодинаміки. Його головний персонаж — гіпотетична розумна істота мікроскопічного розміру (названа «демоном Максвелла»).

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Уявімо посудину, заповнену газом певної температури. Посудину розділяє перегородка із заслінкою, яку «демон» відкриває, щоб пропускати швидкі частинки в один бік, а повільні — в інший. Отже, через деякий час, в одній частині посудини сконцентруються швидкі частинки, а в іншій — повільні. Так, усупереч другому закону термодинаміки, «демон Максвелла» дає змогу нагріти праву частину посудини й охолодити ліву. Але для такого функціонування «демона Максвелла» якраз і необхідне передавання йому енергії від стороннього джерела. За рахунок цієї енергії й відбувається поділ гарячих і холодних молекул у посудині, тобто перехід у стан з меншою ентропією.



ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Симетрія в природі. Зв'язок симетрії світу із законами збереження.

Б. 6. СВІТЛО: частинка & хвиля

Досить звична, на перший погляд, цілком зрозуміла й буденна тема — і, водночас, досить загадкова та важлива. Що дає нам світло? Можливість бачити світ навколо нас! Понад 90 % інформації про навколишній світ людина одержує завдяки зору! То що таке світло? Століттями поміж ученими тривали суперечки про природу світла. Світло стало для науковців одним з «найміцніших горішків», його навіть називали «темною плямою у фізиці»! Чи готові ви розкривати таємниці світла?

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Називати хвильові та квантові властивості світла.

Наводити приклади інтерференції й дифракції світла, практичного застосування поляризації та дисперсії світла.

Пояснювати квантову та хвильову природу світла; механізм випромінювання й поглинання світла; явище фотоефекту.

Розрізняти спектри поглинання й випромінювання.

На прикладі світла *описувати* властивості хвиль, *розрізняти* способи опису об'єктів і систем: дискретний і неперервний.

Проводити прості експериментальні дослідження хвильової природи світла

СУПЕРЕЧКА ВІКІВ: СВІТЛО — ЦЕ ХВИЛЯ ЧИ ЧАСТИНКА?

Століттями тривали поміж ученими суперечки про природу світла. Світло стало для них одним з «найміцніших горішків», його навіть називали «темною плямою у фізиці»!

Наприкінці XVII ст. Рене Декарт (1596 — 1650, Франція, Швеція), Роберт Гук (1635 — 1703, Велика Британія), Християн Гюйгенс (1629 — 1695, Голландія) доводили, що світло — це хвилі, подібні до механічних, наприклад звукових. Тільки от звук поширюється в повітрі. А щоб пояснити, як поширюється світло, учені припускали, що є спеціальне (невидиме й невідчутне) середовище — ефір, що заповнює весь простір і проникає всередину всіх тіл. Ця теорія добре пояснювала перетинання світлових потоків, коли вони вільно проходять один крізь інший, без обопільного впливу, так само, як будь-яка кількість звукових хвиль може одночасно поширюватися повітрям без перешкод одна одній. Добре пояснювала й такі хвильові процеси, як відбиття й заломлення хвиль, явища дифракції та інтерференції. Основний недолік хвильової теорії полягав у тому, що вона потребувала існування певного середовища — ефіру.

На початку XVII ст. Ісаак Ньютон висунув іншу, так звану *корпускулярну теорію світла*, згідно з якою світло — це потік частинок (Ньютон назвав їх корпускулами), які рухаються за законами класичної механіки. У вільному просторі корпускули рухаються прямолінійно зі сталою швидкістю (за інерцією), тобто так, як і мають рухатися частинки без взаємодії згідно з першим законом Ньютона. Теорія Ньютона пояснювала прямолінійне поширення світла, утворення за предметами різких тіней. Однак перетинання світлових потоків пояснити не могла.

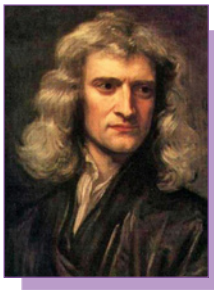
Обидві теорії тривалий час існували паралельно, проте таємниці природи світла з'ясовано не було.

Християн Гюйгенс (1629 — 1695)

1678 р. Хвильова теорія світла

Хвиля!

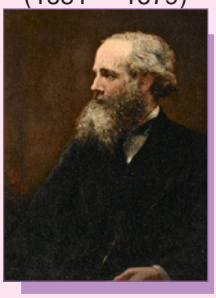
Ісаак Ньютон (1643 — 1727)



1704 р. Корпускулярна теорія світла

Частинка!

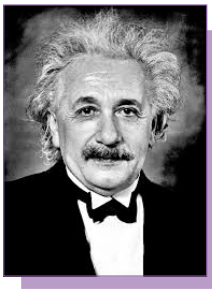
Джеймс Кларк Максвелл (1831 — 1879)



1865 р. Світло — електромагнітна хвиля

Хвиля!!!

Альберт Ейнштейн (1879 — 1955)



1905 р. Світло — це потік фотонів

Частинка!!!

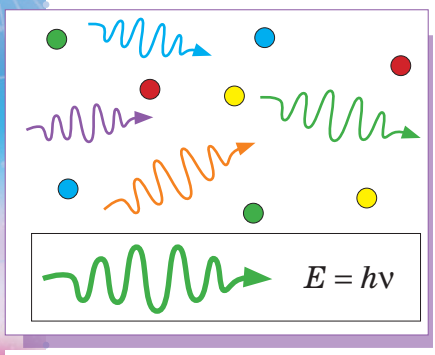
Нарешті у другій половині XIX ст., у 1865 р., фізик Джеймс Максвелл (1831 — 1879, Велика Британія) висловив припущення щодо *електромагнітної природи світла* й переконливо показав, що світло є окремим випадком електромагнітних хвиль.

Однак на початку XX ст. знову довелося повернутися до уявлення про корпускулярну природу світла. У 1905 р. Альберт Ейнштейн, під час пояснення явища фотоефекту, довів, що під час випромінювання й поглинання світло поводить себе подібно до потоку частинок (квантів енергії), які дістали назву *фотонів*.

То що ж таке світло: частинки чи хвиля? Річ у тім, що світло насправді поводить себе, як потік фотонів (у разі випромінювання й поглинання) і як електромагнітна хвиля — у процесі поширення. Прояв у поведінці одного й того самого об'єкта як корпускулярних, так і хвильових властивостей, як ми вже знаємо, було названо *корпускулярно-хвильовим дуалізмом*.

ЯК НАРОДЖУЄТЬСЯ ФОТОН?

«Фотон» як термін народився не відразу. Спочатку А. Ейнштейн називав частинку світла «світловим квантом». Сучасна назва «фотон», що грецькою означає «світло», була введена фізикохіміком Гілбертом Ньютоном Льюїсом (1875 — 1946, США) у 1926 р. (мал. 6.1).



Мал. 6.1. Будьмо знайомі — фотони!

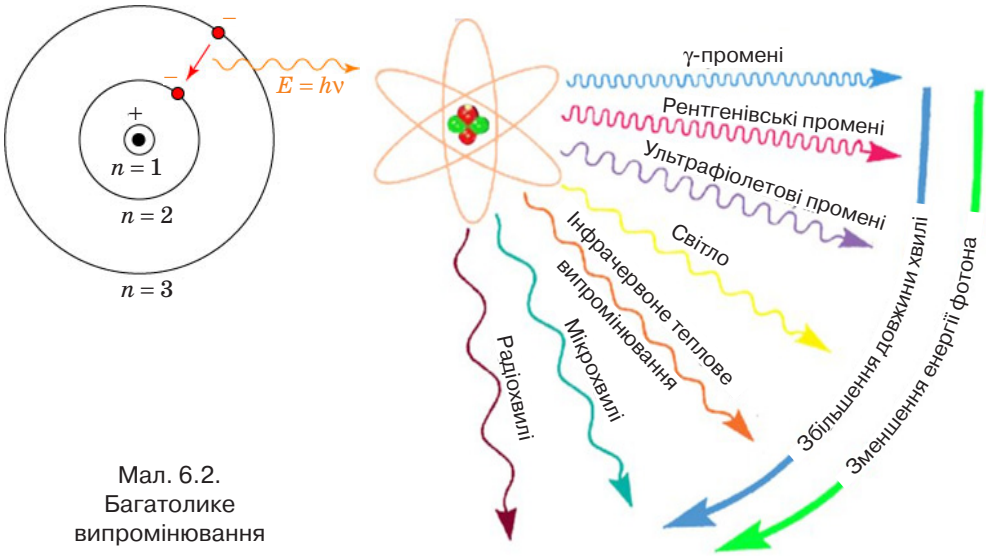
Тепер поняття фотону набуло глибшого змісту. Якщо раніше поняття фотон використовували для пояснення суто світлових процесів, то сьогодні фотон розглядають як одну з фундаментальних елементарних частинок, що має специфічні властивості. На відміну від частинок речовини, якими є електрони, протони, — ця частинка може існувати тільки в русі. Зрозуміло, що її швидкість — це і є швидкість світла 300 000 км/с. Найбільша у природі! Ніщо не може рухатися швидше, ніж світло у вакуумі!!!

Інформація до роздумів
http://www.bbc.com/earth/story/20160429-the-real-reasons-nothing-can-ever-go-faster-than-light?ocid=fbert

За сучасним визначенням, фотон — це квант електромагнітного випромінювання, елементарна частинка, що є носієм електромагнітної взаємодії.

Як виникає фотон? Відповідь на це запитання ви вже маєте знати, якщо добре вивчили будову атома. Електронам, що містяться в орбіталях навколо ядра атома, притаманний певний енергетичний рівень, який забезпечує стійкість усього атома. Проте є можливість

того, що електрони переходять на вищий або нижчий енергетичний рівні. Ці процеси можливі лише в разі поглинання або виділення енергії. Якщо електрон повертається в початкове положення, то внаслідок цього відбувається випромінювання фотона — так народжується світло (мал. 6.2).



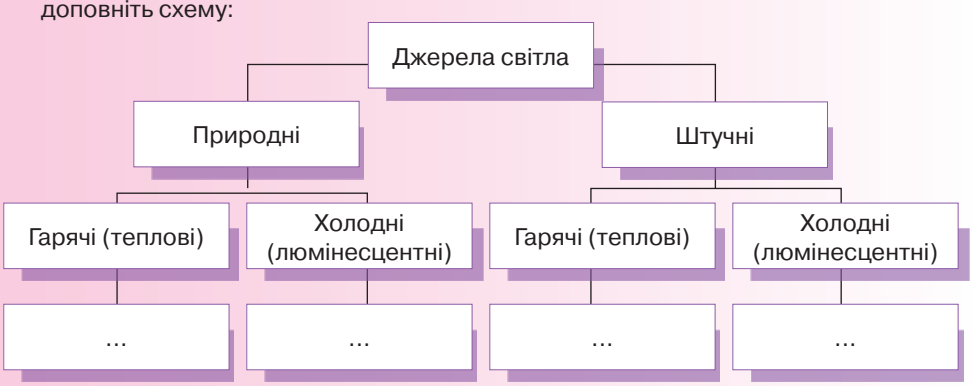
Мал. 6.2. Багатолике випромінювання

Випромінювання тілами електромагнітних хвиль (світіння) може відбуватися з різних причин. Найпоширенішим видом випромінювання є *теплове* — випромінювання електромагнітних хвиль за рахунок внутрішньої енергії тіл. Що вищою є температура тіла, то швидше рухаються атоми. Під час зіткнень швидких атомів частина їхньої кінетичної енергії перетворюється на енергію збудження атомів, які потім випромінюють світло.

Усі інші види світіння, для яких збудження відбувається за рахунок інших видів енергії (крім теплової), об'єднують під загальною назвою *люмінесценція*. На малюнку 6.3 зображено природні та штучні, теплові та люмінесцентні джерела світла.

Мал. 6.3. Джерела світла

1. Проаналізуйте мал. 6.3 та текст, наведений далі. Класифікуйте джерела світла, зображені на малюнку та описані в тексті. За результатами класифікації доповніть схему:



Які є види люмінесценції за причиною збудження атомів? *Катодолюмінесценція* — світіння тіл, зумовлене бомбардуванням речовини зарядженими частинками. Наприклад, світіння екранів електронно-променевих трубок (такі використовували в телевізорах).

Електролюмінесценція — світіння речовини під час проходження крізь неї електричного струму або під впливом на неї електричного поля. Прикладом є газові розряди, Північне сяйво, світлодіоди.

Хемілюмінесценція — світіння, яке виникає внаслідок екзотермічної хімічної реакції. Наприклад, світіння трухлого дерева, спорохнівок, комах-світляків, деяких видів риб, що мешкають на значній глибині.

Фотолюмінесценція — світіння тіл під упливом опромінення їх видимим світлом, ультрафіолетовими, рентгенівськими, гамма-променями. Наприклад, світні фарби, якими покривають дорожні знаки, світловідбивачі, лампи денного світла

У природі спостерігається здатність організмів випромінювати світло.

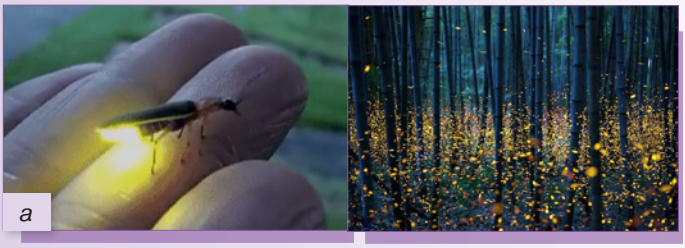
Найчутливіший метод визначення АТФ у біологічному матеріалі є біолюмінесценція — вимірювання світіння, яке супроводжує ферментативні реакції.

Біолюмінесценція — світіння організмів, пов'язане з процесами їхньої життєдіяльності. Здатність до світіння поширена поміж бактерій, грибів, водоростей і тварин. У найпростіших люмінувальні гранули розсіяні в цитоплазмі, а в багатоклітинних фотогенні клітини або органи світіння розташовані в певних місцях. Яскраво це виражено в жуків-світляків. Їхні органи світіння складаються з клітин, у яких містяться дві білкові речовини — люциферин та фермент люцифераза (від латинського lucifer — носій світла). Люциферин за участі ферменту окиснюється, унаслідок чого виділяється енергія, більша частина якої (до 92 %) перетворюється на світло. Світіння жуків-світляків відбувається лише в темряві та є сигналом для впізнання один одного (мал. 6.4, *а*).

Варто зауважити, що світіння поширеніше поміж мешканців морів та океанів. Багато які зі світніх тварин мешкають на великій глибині, куди не доходить сонячне світло (мал. 6.4, *б*). Так, багато світніх риб мають органи світіння по всьому тілу. Крім цього, є також мешканці печер, які світяться в темряві (деякі види малощетинкових червів).

У багатьох тварин органи світіння містять не лише клітини, що випромінюють світло, а й клітини, що заломлюють і відбивають його.

Тварини можуть світитися й за рахунок мікроорганізмів, що світяться та живуть у них.



Мал. 6.4, *а*. І раптом, що це? Жовті світлячки? Потрухлих пнів далекі мерехтинки?

Ліна Костенко. Маруся Чурай

Мал. 6.4, *б*.

Іхтіандр дивиться вгору — перед ним склепіння, геть усе вкрите дрібними, як порох, зорями. Це ночесвітки засвітили свої ліхтарики й піднімаються на поверхню океану. Де-не-де в пітьмі видно блакитнуваті й рожевуваті світлі туманності — щільні скупчення надзвичайно дрібних світних тварин. Повільно пропливають кулі, що випромінюють м'яке зеленкувате світло. Зовсім недалеко від Іхтіандра світиться медуза — вона схожа на лампу, прикриту вигадливим абажуром з мереживом і довгими китицями. Китиці повільно погойдуються, ніби від легенького вітру, при кожному русі медузи. На обмілинах уже загорілися морські зірки. У великих глибинах швидко пересуваються вогні великих нічних хижаків. Вони женуться один за одним, кружляють, гаснуть і знову спалахують.

Знову обмілина. Химерні стовбури й гілки коралів осяяні зсередини блакитним, рожевим, зеленим, білим вогнем. Деякі корали світяться блідим, миготливим світлом, інші — немов розпечений до білого метал.

Олександр Бєляєв. Людина-амфібія

ПРО ЩО МОЖЕ РОЗПОВІСТИ СВІТЛО?

Атоми тих хімічних елементів, у яких багато електронів на різних енергетичних рівнях, у збудженому стані випускають багато різних фотонів, лише деякі з них ми сприймаємо як світлові. Однак, що цікаво, атоми певного виду випромінюють саме їм притаманний набір фотонів.

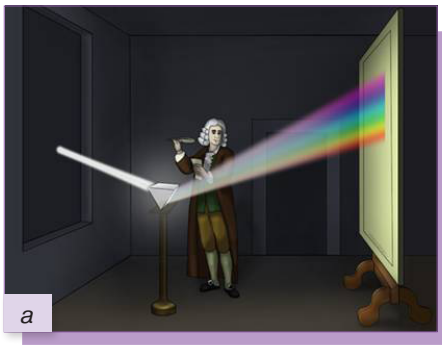
Ця властивість стала основою такого методу дослідження світла, як спектральний аналіз, завдяки якому було зроблено величезний прорив в астрономії. Якщо в 1842 р. філософ Огюст Конт (1798 — 1857, Франція) зауважив, що «ніколи та ніяк нам не вдасться вивчити хімічний склад небесних світил», то вже за двадцять років за допомогою спектрального аналізу астрономи навчилися визначити не лише хімічний склад небесних тіл, а і їхні температуру, швидкість руху, відстані до них та багато іншого.

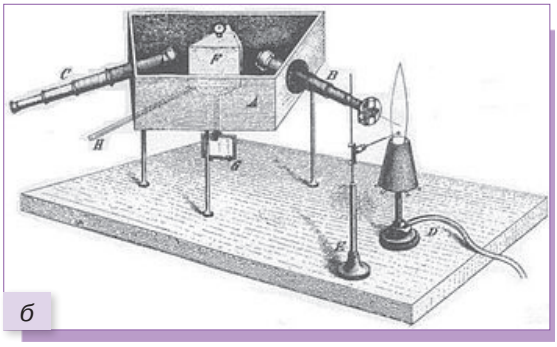
Однак перед тим нам потрібно з'ясувати ще дещо. На малюнку 6.2 позначено, що атом випромінює фотони, які різняться кольором (колір зумовлений частотою випромінювання). Та світло від, наприклад, Сонця чи лампи ми не бачимо таким кольоровим. Нам воно видається білим. Проте барвисту веселку, створену сонячним світлом, усі ви неодноразово бачили. Першим, хто зрозумів, що біле світло та веселка якось пов'язані між собою, був Ісаак Ньютон.

Під час удосконалення телескопів Ньютон звернув увагу на те, що зображення, отримане в телескопі, по краях забарвлене. Він зацікавився цим і перший «...досліджував різноманітність світлових променів і різні властивості кольорів, які при цьому з'являються, про що раніше ніхто не підозрював». (Уривок з напису на могилі І. Ньютона.) Основний дослід Ньютона був геніально простим. За допомогою тригранної призми І. Ньютон розклав сонячне світло в послідовність променів різних кольорів від червоного до фіолетового. Отриману за допомогою призми кольорову смужку І. Ньютон назвав латинським словом spectrum — *спектр*. Він також першим побудував *спектроскоп* — спеціальний прилад для отримання спектра.

У тому, що кольорове світло нам видається білим, легко переконатися самому.

https://www.youtube.com/watch?v=Q0hcrvP6DLM





Мал. 6.5, *а* — кольори спектра: **Ч**арівниця **О**сінь **Ж**иве **З**а **Б**ерегом **С**вітлої **Ф**антазії; *б* — перший спектроскоп

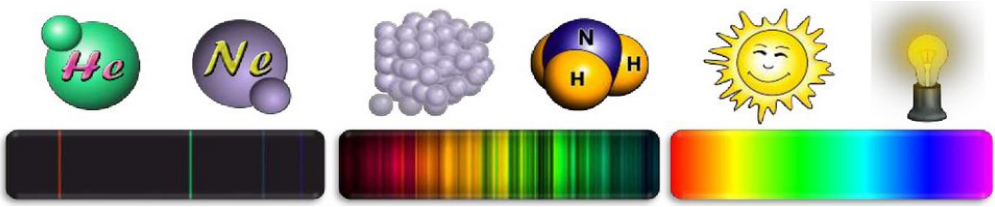
Залежно від стану речовини та фізичних умов, у яких вона перебуває, розрізняють три основні види спектрів випромінювання: неперервний (суцільний), лінійчатий (атомарний) і смугастий (молекулярний) (мал. 6.6).

СПЕКТРИ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Лінійчатий (атомний) спектр дають усі речовини в газуватому атомарному стані, коли випромінюють атоми, що практично не взаємодіють один з одним. Кожний хімічний елемент має свій, тільки йому властивий лінійчатий спектр. Тому за виглядом спектра можна визначити хімічний склад джерела світла.

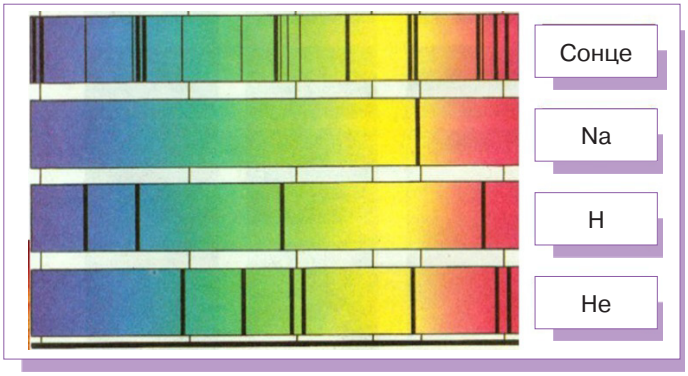
Смугастий (молекулярний) спектр дають не окремі атоми, а слабко сполучені або окремі молекули. За високої температури вони зазнають розпаду, і в спектрі видно лінії атомів усіх елементів певної речовини.

Неперервний, або суцільний, спектр незалежно від хімічного складу дають усі сильно нагріті тіла у твердому або рідкому стані, а також сильно стиснуті гази. Випромінювання різних довжин хвиль утворює суцільну смугу спектра.



Мал. 6.6. Види спектрів випромінювання

Якщо на тлі неперервного спектра видно темні лінії, то такий спектр називають ***спектром поглинання*** (мал. 6.7). Саме з такими спектрами здебільшого й мають справу астрономи.



Мал. 6.7. Спектри поглинання

Спектральний аналіз має широке використання в металургії, хімії, геології, астрофізиці, медицині та біології. За виглядом спектра можна визначити хімічний склад і температуру тіла, за шириною спектральних ліній — його густину. Зміщення ліній у спектрі свідчить про рух тіла

вздовж променя зору спостерігача. (*Пригадуєте ефект Доплера?*) Під час проведення спектрального аналізу користуються спеціальними таблицями або атласами спектральних ліній, у яких наведено точне розміщення ліній спектра кожного хімічного елемента або довжини хвиль, що їм відповідають. За допомогою спектрального аналізу були відкриті нові хімічні елементи — Рубідій і Цезій. Цікава історія відкриття Гелію. Спочатку він був виявлений під час аналізу спектра сонячного випромінювання в 1868 р., звідки й походить його назва (від грец. «геліос» — Сонце), а вже згодом його виявили на Землі.

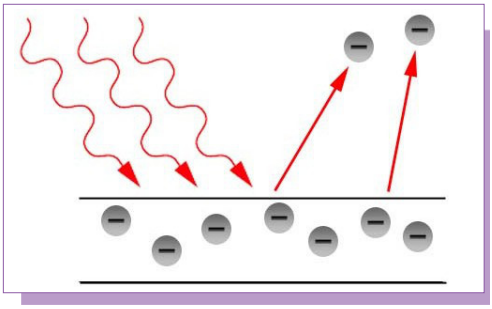
Основні переваги спектрального аналізу — дуже висока чутливість, простота та швидкість проведення.

ДЕ ПРАЦЮЄ СВІТЛО НА ЗЕМЛІ? ФОТОЕФЕКТ

З усіх використовуваних на Землі джерел світла єдиним безкоштовним, найбільшим і найголовнішим є Сонце. У кожному розділі ми неодноразово розглядатимемо роль сонячного випромінювання в тих чи тих процесах і явищах.

Почнімо з явища, завдяки якому було з'ясовано його квантову природу. Це явище — фотоефект. Фотоефект відкрив Генріх Герц (1857 — 1894, Німеччина), коли проводив досліди з генерування електромагнітних хвиль. Зауважимо, що він відкрив багато фізичних ефектів, більшу частину яких пояснити не зміг. Іронія долі в тому, що під час доведення існування електромагнітних хвиль Герц ненавмисно зробив відкриття, яке першим завдало удару по його хвильовій теорії світла. Розберімося по порядку.

Суть фотоефекту в тому, що світло може «вибивати» з деяких речовин/матеріалів електрони (мал. 6.8).



Мал. 6.8. Явище фотоефекту: вибивання світлом електронів

З'ясуймо, які умови потрібні, щоб відбувався фотоефект і, найголовніше, у чому ж виникли суперечності між хвильовою теорією світла та реальними дослідними даними.

З огляду на хвильову природу світла є підстави стверджувати: що більша освітленість поверхні зразка, то більше енергії йому передається, то більшою має бути швидкість вибитих фотоелектронів (на прикладі механічних хвиль: що більша амплітуда хвилі прибою, то далі на берег вона викине пляшку із запискою).

У дослідах зі світлом виявлено, що швидкість фотоелектронів залежить від частоти (кольору) світла, а від ступеня освітленості зразка залежить кількість фотоелектронів. Більше того, якщо частоту світла плавно зменшувати (колір зміщувати в бік червоного), то настає момент, коли світло взагалі не може вибити з речовини жодного електрона навіть за підвищеної освітленості. Цю граничну частоту називають червоною межею фотоефекту. З огляду на хвильову теорію світла такий факт взагалі неможливий.

З подібною проблемою зіткнувся й Макс Планк (1858 — 1947, Німеччина), коли намагався теоретично обчислити частку енергії випромінювання Сонця, що припадає на будь-який з кольорів веселки. Планк спирався на хвильову теорію світла. З його розрахунків витікало, що зі збільшенням частоти енергія випромінювання має зростати. Висновок був такий, що в ультрафіолетовому діапазоні, де частота дуже велика, Сонце випромінює таку немислимо гігантську енергію, що давно мало б згаснути. Колега-фізик Джеймс Джинс (1877 — 1946, Велика Британія) іронічно назвав отриманий Планком результат «ультрафіолетовою катастрофою». Однак Планку було не до сміху. У відповідь він висунув ідею, що атоми випромінюють світлові хвилі не безперервно, а порціями (квантами), при цьому енергія кванта залежить тільки від його частоти. Альберт Ейнштейн пішов ще далі. Припустивши, що світло не тільки випромінюється, а й поширюється у вигляді частинок — фотонів, він легко пояснив особливості фотоефекту (чим накликав на себе немилість Генріха Герца й отримав нобелівську премію з фізики. До речі, за його карколомну теорію відносності премію він не отримав, настільки в ті часи вона видавалася революційною).

Відповідно до пояснень Ейнштейна, один фотон вибиває один електрон, а кількість фотонів пропорційна освітленості поверхні. Якщо частота фотона більша за частоту червоної межі, фотон може вибити електрон із зразка. Якщо світло монохроматичне (не біле, а якогось фіксованого кольору), всі фотони мають однакову енергію, а отже, всі вибиті електрони будуть мати однакову швидкість, незалежно від ступеня освітленості.

Ейнштейн запропонував просте рівняння для фотоефекту: $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$,

де v — швидкість вибитого електрона; A — робота виходу електрона з певної речовини; h — стала Планка; ν — частота світлової хвилі.

З рівняння випливає, що якщо енергія фотона $h\nu$ (добуток сталої Планка на частоту світлової хвилі) більше роботи виходу A, то фотон не тільки вибиває електрон, а й додатково надає йому швидкість v. Якщо енергія $h\nu$ дорівнює роботі виходу A або менша від неї, то електрон залишиться всередині речовини

У металах завжди багато вільних електронів, які й «вибиваються» з поверхні під дією світла. Проте більш цікавий фотоефект у напівпровіднику, наприклад, у кристалі силіцію, де вільних електронів небагато. Тут процес відбувається у два етапи. Спочатку фотон вибиває електрон з атома силіцію у вузлі кристалічних ґраток. Якщо енергія фотона досить велика, електрон відразу вилітає з кристала й спостерігають зовнішній

фотоефект. Якщо ні, електрон залишається всередині, однак при цьому змінюються електричні властивості напівпровідника. Можна підібрати такий напівпровідник, що він буде чутливим до інфрачервоного випромінювання. При цьому опір кристала різко падає, а струм у колі, до якого підімкнуто напівпровідник, зростає. На цьому принципі заснована робота інфрачервоних датчиків, пультів управління телевізором, ракетних снарядів самонаведення, а також інфрачервоних окулярів та біноклів.

Відкриття явища фотоефекту мало велике значення для ліпшого розуміння природи світла. Та цінність науки полягає не лише в тім, що вона з'ясовує складну та багатогранну будову навколишнього середовища, а й у тім, що наука дає нам засоби, за допомогою яких можна вдосконалювати виробництво, поліпшувати умови матеріального й культурного життя. Широкого практичного використання набули *напівпровідникові фотоелементи з внутрішнім фотоефектом* — фотоопори (фоторезистори), фотодіоди, сонячні батареї (мал. 6.9).

Мал. 6.9. Фотоефект у дії

Сонячна енергетика може мати свої недоліки та певні обмеження в порівнянні з традиційними енергетичними ресурсами, такими як вугілля, нафта і газ. Немає жодних сумнівів, що фотовольтаїка перебуває в тренді багатьох розвинених країн — особливо в Китаї, Японії, Німеччині та США, що роблять величезні інвестиції в будівництво сонячних електростанцій.

Дослідження показують, що якщо нинішні темпи зростання збережуться, то до 2020 р. близько 10 % електроенергії у світі може бути отримано за допомогою сонячної енергетики. Тисячі фотоелектричних панелей, які часто охоплюють кілометри пустелі, символізують майбутнє альтернативної енергетики.

Завдяки фотоефекту стала можливою поява цілого ряду цифрової електроніки — фотоапарати, відеокамери, електронні телескопи, мікроскопи. Тому наступного разу, коли ви візьмете до рук свою ультрасучасну фотокамеру, обов'язково згадайте про те, що якби не робота всесвітньо відомого фізика XX ст., то нічого цього могло б і не бути.

ДЕ ПРАЦЮЄ СВІТЛО НА ЗЕМЛІ? ФОТОБІОЛОГІЯ

Світло є одним з найважливіших зовнішніх чинників, що впливає на організми. Вивчає дії світла на організми фотобіологія. Ця наука досліджує фізичні та фізико-хімічні етапи фотобіологічних процесів. Дії світла на організми досить різноманітні. До них належать (мал. 6.10):

- *фотосинтез* — синтез молекул органічних речовин за рахунок енергії сонячного світла;

- *фототаксис* — рух організмів до чи від світла (наприклад, бактерії);
- *фототропізм* — повертання листя чи стебла до світла або від нього;
- *зорове сприйняття* — перетворення світлової енергії на енергію нервового імпульсу або в аналогічних фоторецепторах;
- *дія ультрафіолетових променів* (від бактерицидного й терапевтичного ефектів, утворення вітаміну D до мутагенної та канцерогенної дії).

ДІЯ СВІТЛА НА ОРГАНІЗМИ

Рослини (фотосинтез, фотоперіодизм, фототропізм)	**Бактерії** (мутагенна та бактерицидна дії ультрафіолетового випромінювання, фототаксис)	**Тварини й людина** (зорове сприйняття, утворення вітаміну D, засмага, фотоеритема)

Мал. 6.10. Дія світла на організми

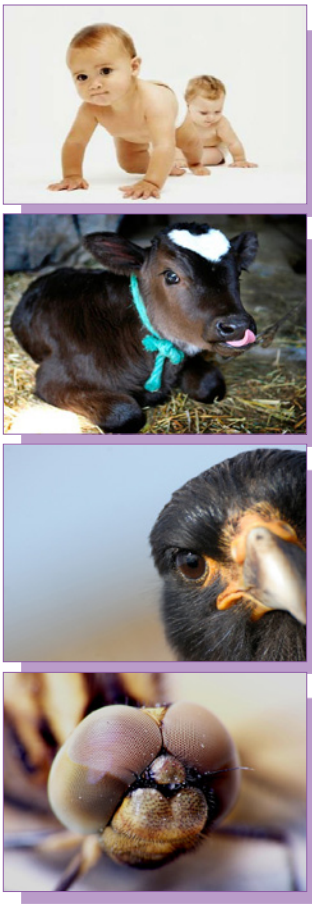
Усі ці процеси зумовлені дією світла. Особливістю біологічної дії світла оптичного діапазону, що включає в себе ультрафіолетове (200–400 нм) та видиме (400–750 нм) світло, є залежність біологічного ефекту від довжини хвилі випромінювання. Зміна довжини хвилі дає змогу керувати тими чи тими фотобіологічними процесами.

До фотобіологічних відносять процеси, які починаються з поглинання кванта світла біологічно важливою молекулою, а закінчуються певною фізіологічною реакцією (позитивною або негативною) на рівні організму. Наприклад, сонячне світло може зумовити такі характерні ефекти, як еритема, рак шкіри, терапевтичні ефекти при псоріазі. Отже, фотобіологічний процес запускається лише внаслідок поглинання кванта світла певною молекулою-акцептором. Наприклад, бактерицидний ефект виникає в результаті поглинання світла молекулами ДНК в клітинах бактерій.

Розрізняють **позитивні** (корисні) та **негативні** (шкідливі) фотобіологічні процеси.

До **позитивних** ефектів відносять:

- зорове сприйняття (мал. 6.11);
- фотоперіодизм — регуляцію добових і річних життєвих циклів тварин циклічними впливами «світло-темрява». Процес відбувається під дією видимого світла. У людини та ссавців



Мал. 6.11. Зорове сприйняття в організмів

фотоперіодичним рецептором є очі, у деяких видів птахів — гіпоталамус, у риб — епіфіз, у комах — мозок.

Утворення вітаміну D з провітамінів відбувається під дією ультрафіолетового світла. У незначних дозах це опромінення є необхідним для людини. Кінцеві стадії біосинтезу цих вітамінів мають фотохімічну природу.

У рослин важливими фотобіологічними процесами є фотосинтез, фототаксис, фототропізм, фотоперіодизм.

Негативні ефекти в організмі людини та тварин поділяють на два типи: фототоксичні й фотоалергічні.

Фототоксичні — світлові пошкодження шкіри чи очей без алергічних реакцій. Їхні клінічні вияви — еритеми, едеми, пігментації, помутніння кришталика ока тощо.

Фотоалергічні ефекти включають у себе первинний імунологічний механізм алергічної сенсибілізації.

За характером біологічної дії на організм людини та тварин увесь спектральний діапазон розбивають на декілька частин, які відповідають за індукцію певних ефектів.

Інфрачервоний (*довжина хвиль понад 750 нм*): теплові ефекти в лікуванні різних захворювань.

Видимий (*400 — 750 нм*): зір, фотоперіодизм.

Ультрафіолетовий (*200 — 400 нм*) розбивають на три області. Цей розподіл базується на реєстрації спектрів дії еритеми.

УФ-А (*315 — 400 нм*): засмага, синтез вітаміну D з провітамінів, фотоалергічні та сенсибілізувальні фототоксичні ефекти.

УФ-В (*280 — 315 нм*): еритема, едема, засмага, опік очей, канцерогенез, синтез вітаміну D.

УФ-С (*200 — 280 нм*): еритема, засмага, канцерогенез, мутації, бактерицидний ефект.

Біологічно активним є весь діапазон оптичного випромінювання (200 — 800 нм), та найгостріші ефекти зумовлені світлом ультрафіолетового спектра (200 — 400 нм). Ультрафіолетові промені практично повністю поглинає епідерміс, тож вони ледве проникають у шкіру.

Ультрафіолетова радіація відіграє вирішальну роль в основному біологічному процесі — *фотосинтезі* — процесі перетворення світлової енергії на хімічну. Механізм цього процесу можна описати так. Квант ультрафіолетового випромінювання, віддавши енергію електрону в молекулі хлорофілу, змушує його залишити молекулу. Унаслідок цього утворюється вільний радикал, і реакційна здатність молекули хлорофілу різко підвищується. Для відновлення початкового стану молекула хлорофілу забирає електрон, якого не вистачає, у молекули води, у результаті чого з останньої вивільняється кисень. Тобто хлорофіл відновлюється, а енергія кванта перетворюється на енергію хімічного зв'язку й під час наступних біохімічних реакцій переноситься та накопичується в інших хімічних сполуках.

Коли вивчають первинні стадії фотобіологічних процесів, вимірюють спектри фотобіологічної дії.

Умовно виокремлюють такі основні стадії фотобіологічних процесів:

- кожний процес починається з поглинання квантів світла молекулою-хроматофором;
- частина електронно-збуджених молекул змінюється з утворенням фотопродуктів;
- фотопродукти вступають у темнові біохімічні реакції. Ці реакції можуть зумовлювати локальні (на рівні окремих органів чи тканин) або системні (на рівні організму) фізіологічні ефекти.

Оптичне випромінювання широко використовують у медицині:

- ультрафіолетове опромінення (опромінення шкіри, крові);
- лікування лазером (лазерна хірургія, фотодинамічна терапія, лазерна терапія);
- лікування хвороб шкіри.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Які основні властивості фотона?
2. У чому полягає корпускулярно-хвильовий дуалізм світла?
3. Які речовини дають суцільний спектр? Які — лінійчатий?
4. Чим відрізняються лінійчаті спектри різних газів?
5. Які суперечності було виявлено між закономірностями фотоефекту та хвильовою теорією світла?
6. Як з позицій квантової фізики пояснюють особливості фотоефекту?
7. Проаналізуйте уривок з книги Ігоря Акімушкіна «Стежиною легенд»:

   «Звичайна спорохнівка, а як чудово світиться! Принесемо її додому. У першу ніч вона світитиметься й у кімнаті. Потім світло її меркне. А через добу згасне зовсім. Якщо ж у приміщенні буде задушно, то спорохнівка не світитиметься й першої ночі. У тропічних країнах у нашого опенька багато світніх родичів, і світиться в них не «коріння», а спори. З-під капелюшків струмує м'яке тьмяне світло, і міріади нічних комах злітаються на ці вогники. Сяйво, що випромінює гриб, немов світло маяка, указує дорогу крилатим мандрівникам, які шукають гриби, щоб відкласти в них свої яйця. А гриби також отримують користь із відвідин комах». Поясніть, чому: а) світло спорохнівки поступово згасає та чому вона не світиться в задушному приміщенні; б) яку саме користь отримує гриб.
8. Поясніть, навіщо личинки грибних комариків Arachnocampa плетуть гніздо з шовку на стелі в печерах, звішують донизу нитки з крапельками липкої рідини, а потім підсвічують їх власним тілом.

   Шкільний учитель і винахідник Девід Бушнелл (1740 — 1824, США) створив під час війни за незалежність одномісний підводний човен «Черепаха». Освітлення всередині човна не було, і, щоб бачити покази барометра та компаса, Бушнелл наніс на стрілки цих приладів невеликі шматочки світнього гриба. Щоправда, під час випробувань у листопаді 1775 р. він виявив, що за низької температури біолюмінесценція зникає, тож Бушнеллу довелося відмовитися від використання човна взимку. Висловте припущення щодо причини зникнення біолюмінесценції за низької температури й обґрунтуйте його.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

9. Поясніть, про які фотобіологічні процеси та ефекти йдеться: а) «Уранці, коли сонце зійшло, я бачив, як кульбабки розкривають свої долоні, і від цього луг ставав знову золотим. Відтоді кульбаба стала для нас однією з найцікавіших квіток, тому що спати кульбаби лягали разом з нами, дітьми, і разом з нами прокидалися». *М. М. Пришвін. Золотий луг*; б) «І дивляться соняхи, тягнуться, ніжні, До сонця у небо, до сонця, та й годі!» *Андрій Малишко. Соняшники*; в) «Жменька метеликів і комарів танцює навколо останнього світла». *Еріх Марія Ремарк. Тріумфальна арка.*

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Спостереження суцільного й лінійчатого спектрів речовини

Обладнання (мал. 6.12): генератор високої напруги «Спектр», спектральні трубки з різними газами, джерело постійного струму, лампа розжарювання (ці прилади є загальними для всього класу), скляна призма (або призма прямого зору, або скляна пластинка зі скошеними гранями).

Мал. 6.12: *а* — скляна призма; *б* — спектральні трубки; *в* — генератор високої напруги «Спектр».

1. Спостерігайте крізь призму нитку лампи розжарювання (грані призми, на яких заломлюється світло, мають бути вертикальними). Переконайтеся, що спостерігаєте суцільний спектр. Запишіть, у якому порядку ви спостерігаєте кольори в цьому спектрі.

2. Спостерігайте крізь призму по черзі світло від кількох спектральних трубок. Переконайтеся, що в одноатомних газів лінійчаті спектри.

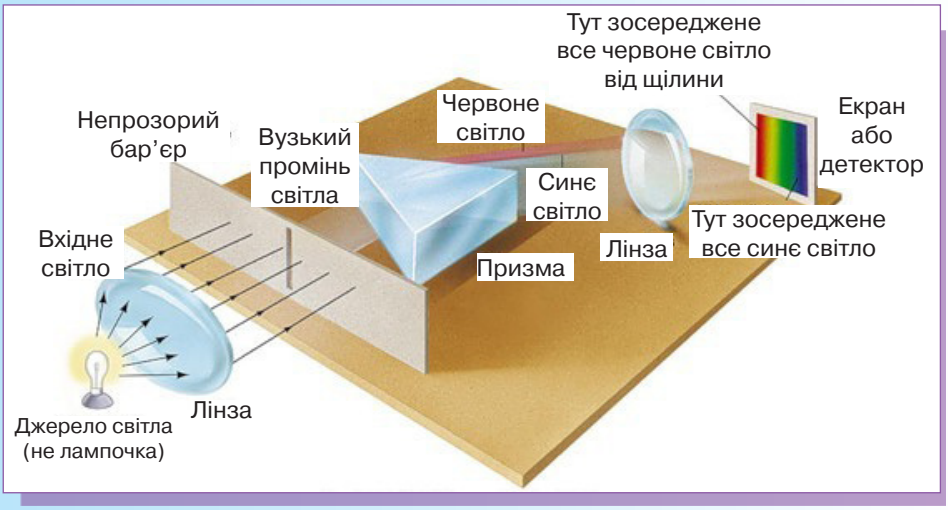
3. Спостерігайте лінійчаті спектри й визначте:

- чи бачите ви однакові спектральні лінії в спектрах різних речовин;
- чи відрізняється порядок кольорів у лінійчатих спектрах від порядку кольорів у суцільному спектрі.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

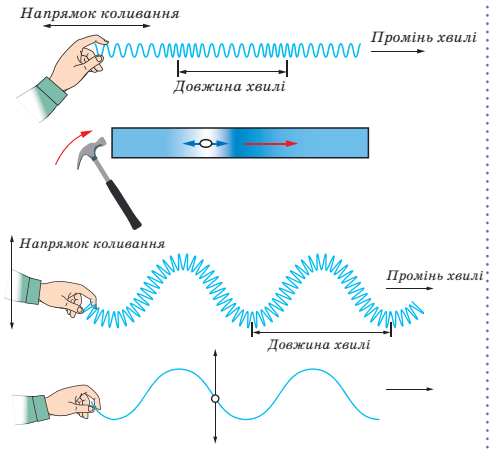
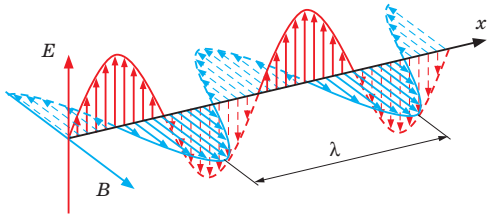
- Побудова саморобного спектроскопа (мал. 6.13) й порівняння спектрів доступних джерел світла.



Мал. 6.13. Саморобний спектроскоп

ЧУДЕРНАЦЬКА ХВИЛЯ

У першій частині теми ми розглядали квантові властивості світла. Тепер дослідимо його хвильові властивості. Принагідно зазначимо, що хвильові процеси відбуваються однаково як для механічних, так і для електромагнітних та гравітаційних хвиль. Тому проводитимемо деякі аналогії між механічними хвилями на поверхні води й світловими хвилями.

ХВИЛЯ	
Механічна	**Електромагнітна**
Визначення	
Процес поширення коливань у пружному середовищі з плином часу	Процес поширення змінного електромагнітного поля в просторі з плином часу
Приклади	
Хвилі на поверхні води, звук	Світло, радіохвилі, гамма-промені
Види	
Можуть бути повздовжніми або поперечними. Звук — це повздовжня хвиля (мал. 6.14).  Мал. 6.14	Можуть бути тільки поперечними, оскільки в кожній точці простору напруженість електричного поля, індукція магнітного поля і швидкість поширення цих хвиль взаємно перпендикулярні (мал. 6.15)  Мал. 6.15
Умови виникнення	
Для утворення й існування механічної хвилі необхідні: джерело, тобто тіло, що коливається; пружне середовище, яке передає взаємодію частинок середовища між собою	Джерелом електромагнітних хвиль є пришвидшений рух електрично заряджених частинок. З огляду на те, що пришвидшений рух заряджених частинок може відбуватися в різних системах фізичних тіл, електромагнітні хвилі можна розподілити за типами відповідно до умов збудження їх: ▪ *радіохвилі* породжено електромагнітними коливаннями в коливальному контурі, який має цілком певні електромагнітні параметри;

Умови виникнення	
	▪ поява *видимого світла* зумовлена переходом електронів в атомі з вищого енергетичного рівня на нижчий; ▪ *гамма-промені* виникають унаслідок змін у ядрах атомів
Особливості поширення	
У вакуумі не поширюються. Швидкість поширення механічної хвилі залежить від пружних властивостей і густини середовища	У вакуумі поширюються з максимально можливою в природі швидкістю $3 \cdot 10^8$ м/с
Спільні властивості	
В однорідному середовищі хвилі поширюються рівномірно та прямолінійно; підлягають закону відбивання хвиль; заломлюються згідно із законом заломлення хвиль і фокусуються; поглинаються; їм притаманні хвильові явища (дифракції — огинання невеликих перешкод; інтерференції — накладання хвиль, у результаті чого утворюються ділянки, у яких чергується підсилення й послаблення хвиль)	
Особливі властивості світла	
Поляризація — певна просторова орієнтація коливань електричної складової хвилі). Дисперсія — залежність швидкості поширення світла в певному середовищі від його кольору	

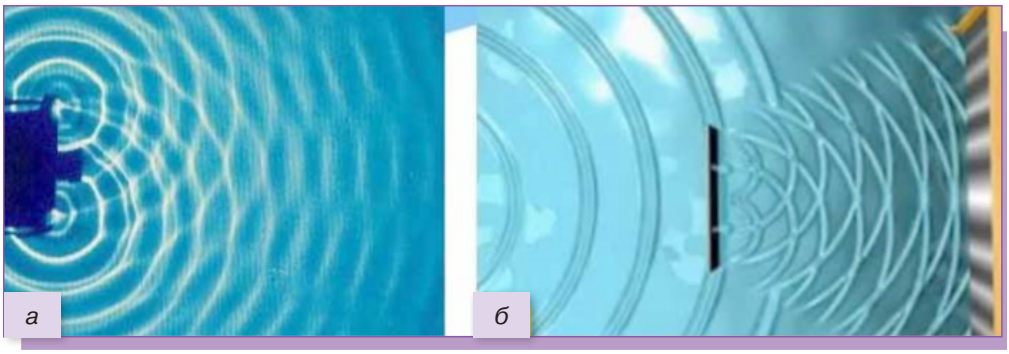
Світло — електромагнітні хвилі видимого спектра. До видимого діапазону належать електромагнітні хвилі в інтервалі частот, що сприймає людське око ($7{,}5 \cdot 10^{14}$ — $4 \cdot 10^{14}$ Гц), тобто з довжиною хвилі від 390 до 750 нанометрів. У фізиці термін «світло» має дещо ширше значення та є синонімом до оптичного випромінювання, тобто включає в себе інфрачервону та ультрафіолетову області спектра.

ТО ПІДСИЛЮЄ, ТО ПОСЛАБЛЮЄ

Вам доводилося бачити, як на поверхні води поширюються хвилі, що йдуть з двох різних точок? Ці хвилі зустрічаються, накладаються та продовжують поширення так, ніби їхньому рухові ніщо не заважало. Описану властивість хвиль називають *суперпозицією* (мал. 6.16).

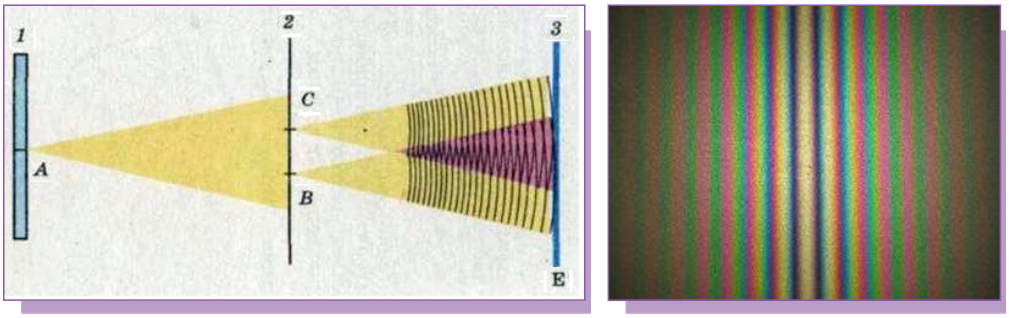
Мал. 6.16. Суперпозиція хвиль

Якщо два джерела хвиль коливатимуться з однаковою частотою та зберігатимуть сталою різницю фаз (такі джерела називають когерентними), то утворені від таких джерел хвилі накладатимуться по-особливому. Під час накладання когерентних хвиль утворюється стійка картина коливань точок середовища, на якій видно, що в одних точках відбувається взаємне посилення хвиль і послаблення в інших, залежно від співвідношення між фазами цих хвиль. Описане явище називають *інтерференцією* (мал. 6.17).



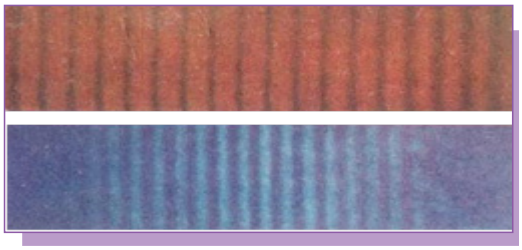
Мал. 6.17. Утворення інтеренференційної картини: *а* — від двох когерентних джерел; *б* — від двох щілин (після проходження щілин також утворюються когерентні хвилі)

Для отримання когерентних джерел світла вдаються до штучного прийому: пучок світла від одного джерела розділяють на два чи кілька пучків, які йдуть різними шляхами, і подалі зводяться та накладаються один на одного. Якщо ці пучки пройдуть різну відстань, то між ними виникне різниця фаз, зумовлена різницею їхнього ходу. Унаслідок накладання таких пучків виникає стійка інтерференційна картина — чергування кольорових і темних смуг (мал. 6.18).



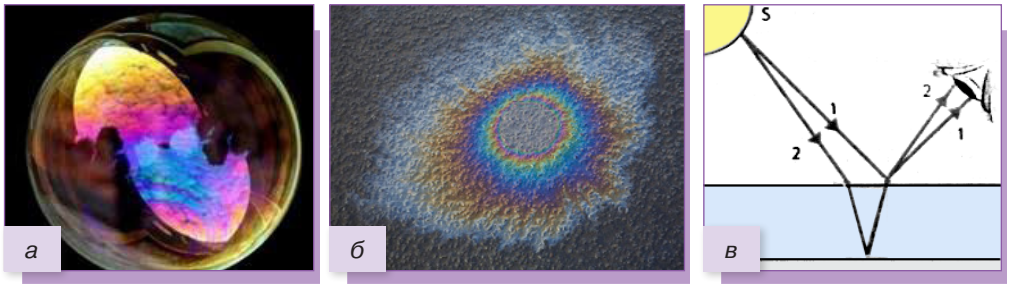
Мал. 6.18. Чергування кольорових і темних смуг унаслідок інтерференції світлових хвиль

Вигляд інтерференційної картини залежить від довжини хвилі. Наприклад, для червоного світла відстані між смугами виявляться більшими, ніж за освітлення зеленим чи синім світлом (мал. 6.19).



Мал. 6.19. Вигляд інтерференційної картини залежить від довжини хвиль

У природних умовах інтерференцію світла можна спостерігати на тонких мильних бульбашках, на плівках бензину, розлитому на мокрому асфальті (мал. 6.20). Світлова хвиля частково відбивається від зовнішньої поверхні плівки, частково проходить крізь плівку і, відбившись від її внутрішньої поверхні, повертається в повітря. Оскільки друга хвиля проходить більшу відстань, ніж перша, то між ними є різниця ходу. Обидві хвилі когерентні, оскільки створені одним джерелом, тому в результаті накладання їх спостерігають стійку інтерференційну картину (мал. 6.20, *в*).



Мал. 6.20. Інтерференція: *а* — магія кольорів мильної бульбашки; *б* — «...красувалася, на жаль, не оспівана жодним класиком калюжа, вся в райдужних переливах від мазуту, автомобільного мастила, бензину та інших горючо-змащувальних речовин...» *Павло Загребельний*. *Неймовірні оповідання*; *в* — пояснення явища інтерференції

Сучасні наука і техніка використовують інтерференцію світла для точних вимірювань, для визначення якості обробки поверхонь, для поліпшення якості зображення, отриманого оптичними приладами тощо. Інтерференційний метод вимірювання довжини хвилі світлового випромінювання дає змогу визначати її з точністю до 7–8 значущих цифр. Таким способом у 1960 р. було виміряно довжину еталона метра, у результаті чого дано нове його означення: метром назвали довжину, на якій довжина хвилі оранжевих променів у вакуумі, що їх випромінюють атоми Криптону, укладається 1 650 763,73 раза. (У 1983 р. було прийнято новий еталон метра, виражений через швидкість світла.)

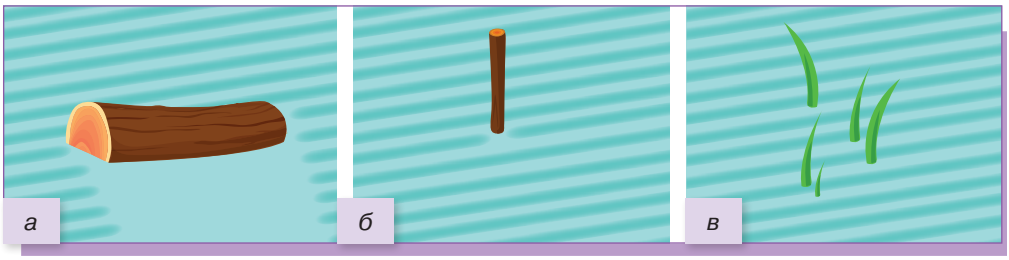
У 1935 р. уродженець України Олександр Теодорович Смакула (1900 — 1983, УРСР, Німеччина, США) зробив відкриття — спосіб поліпшення оптичних приладів, що дістав назву «просвітлення оптики». Суть відкриття полягає в тому, що полірована поверхню скляної лінзи покривають тонким шаром певного матеріалу.

Завдяки явищу інтерференції в цій тонкій плівці відбите від полірованої поверхні світло гаситься, і більше світла проходить уперед. Таких поверхонь на шляху світла, що проходить крізь складний прилад, досить багато, тому втрата навіть кількох відсотків світла на відбиття на кожній з них призвело б до того, що на виході ми б уже нічого не побачили. Лінзи є основним елементом різних оптичних приладів: фотоапаратів, мікроскопів, телескопів, перископів, стереотруб, біноклів, оптичних пристроїв до стрілецької зброї тощо. Так це відкриття стало великим здобутком, який усе людство використовує дотепер як на Землі, так і в космосі для фотографування Землі та інших планет.

ЧИ ЗАВЖДИ БУВАЄ ТІНЬ?

Ознайомимося ще з одним хвильовим явищем — дифракцією. *Дифракція* — явище огинання хвилями перешкод.

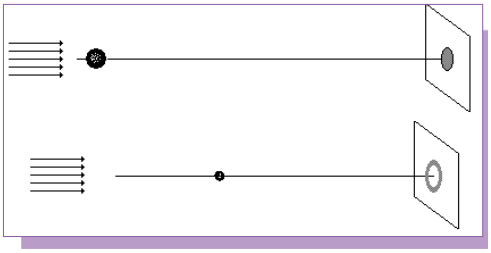
Легко спостерігати дифракцію хвиль, які поширюються на поверхні води. Перешкоди порушують прямолінійність переміщення фронту хвилі. Якщо перешкода велика (порівняно з довжиною хвилі), то за нею хвиль немає (мал. 6.21, *а*), якщо розмір перешкоди малий — хвилі заходять за її краї (мал. 6.21, *б*), дуже малу перешкоду хвилі огинають так, ніби її немає — фронт хвилі не змінюється (мал. 6.21, *в*). Вигинання фронту хвилі можна спостерігати і в разі проходження її крізь отвір.



Мал. 6.21. Дифракція хвиль на поверхні води

Спостерігати дифракцію світла не так легко. Усім відомо, що світлові промені поширюються прямолінійно й за будь-якою перешкодою виникає область тіні. Тривалий час уважали, що світлові промені завжди поширюються прямолінійно.

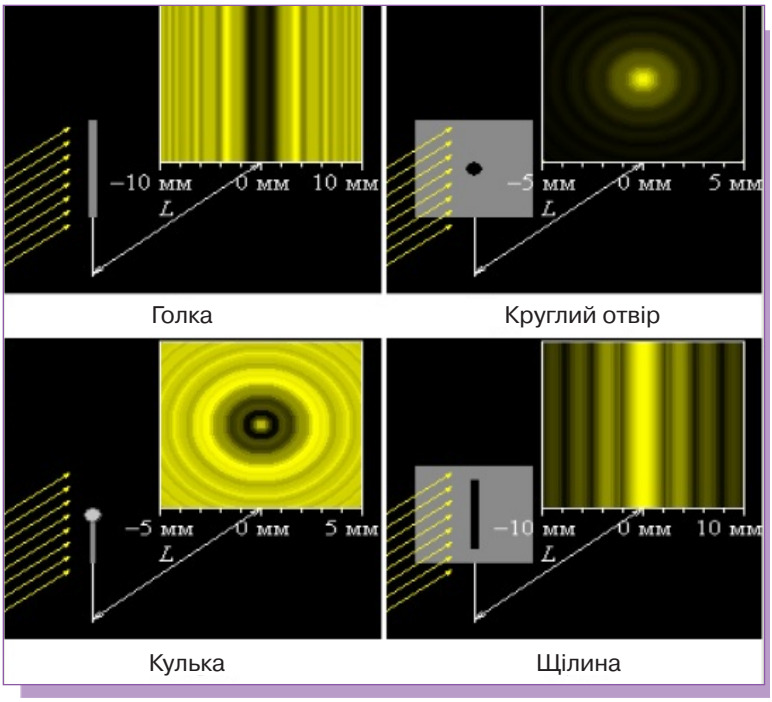
Проте явище дифракції притаманне й світлу. За певних умов можна підібрати такі розміри та положення, наприклад, кульки, що на екрані за кулькою замість геометричної тіні буде світла пляма (мал. 6.22).



Мал. 6.22. Дифракція світла: *а* — у разі, коли розміри перешкоди набагато більші за довжину світлової хвилі, — спостерігається темна тінь від перешкоди; *б* — якщо ж розміри перешкоди дуже малі або відстань від джерела дуже велика — то в центрі тіні спостерігається освітлена ділянка; це означає, що світло огинає перешкоду

Отже, дифракцію спостерігають тоді, коли відстань від перешкоди до місця спостереження в багато разів більша за розмір перешкоди. Дифракцію спостерігають й у випадку, коли лінійні розміри перешкод, на які падає хвиля (або розмір отворів, крізь які хвиля проходить), порівнянні з довжиною хвилі.

Хвилі, що огинають перешкоду, є когерентними. Це пояснюють тим, що в результаті огинання перешкоди її краї стають «джерелами» вторинних когерентних хвиль (так само, як і краї отвору) які, поширюючись, утворюють інтерференційну картину. На малюнку 6.23 зображено випадки дифракції жовтого світла.



Мал. 6.23. Приклади дифракції світла

Щоб дифракційна картина була більш вираженою, світло пропускають не крізь одну чи дві, а крізь кілька паралельних щілин.

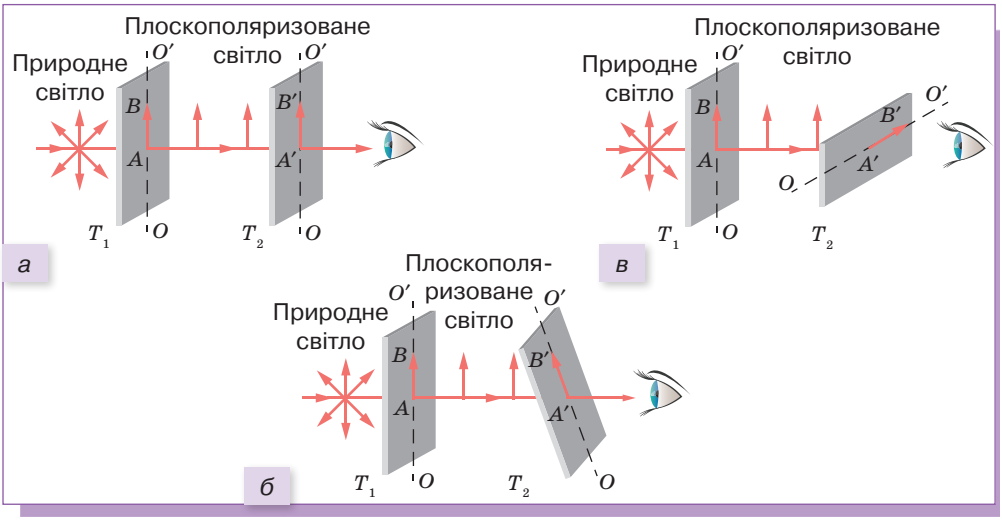
Дифракцію досить легко спостерігати в природних умовах. Наприклад, якщо подивитися на джерело світла (лампу, свічку) крізь прозору тканину, або, примруживши очі, подивитися на яскраве джерело світла, то можна побачити веселку (мал. 6.24, *а*). Але найліпше спостерігати дифракцію на оптичному диску (мал. 6.24, *б*).

Мал. 6.24. Дифракційні явища навколо нас

Є метод дослідження структури речовини, в основі якого лежить явище дифракції рентгенівського випромінювання на тривимірних кристалічних ґратках — рентгеноструктурний аналіз. Для дослідження атомної структури застосовують випромінювання з довжиною хвилі порядку розмірів атомів. Метод дає змогу визначати атомну структуру речовини, що включає просторову групу елементарної комірки, її розміри та форму, а також визначити групу симетрії кристалу. За допомогою методу можна досліджувати метали та їхні сплави, мінерали, неорганічні й органічні сполуки, полімери, аморфні матеріали, рідини та гази, молекули білків, нуклеїнових кислот тощо. Найлегшим і найуспішнішим є застосовування методу для встановлення атомної структури кристалічних тіл, які вже мають строгу періодичність будови, тобто фактично створеними природою дифракційними ґратками для рентгенівських променів. Для решти речовин кристал потрібно створити, що є важливою та складною частиною процедури проведення рентгеноструктурного аналізу, проте й дотепер через простоту й відносну дешевизну він залишається одним з найпоширеніших методів визначення структури речовини

ЯК ПОСЛАБИТИ СВІТЛО?

Дослідимо ще одну властивість світлових хвиль — їхню поляризацію. Візьмемо дві однакові прямокутні пластинки з турмаліну, вирізані так, що одна зі сторін прямокутника збігається з певним напрямком усередині кристала, який називають оптичною віссю. Розмістимо другу пластинку так, щоб їхні осі збігалися за напрямком, і пропустимо крізь складену пару пластинок вузький пучок світла від якогось джерела або від Сонця. Під час обертання першої пластинки навколо пучка (друга пластинка нерухома), виявимо, що світловий пучок слабшатиме, а після повороту пластинки на 90° він зовсім зникне (мал. 6.24).



Мал. 6.24. Поляризація світла

Цей результат можна пояснити так. У природному світлі вектор напруженості електричного поля має довільні напрямки. Проходження

природного світла крізь першу пластинку турмаліну приводить до того, що з усіх напрямків поперечних коливань відбираються лише ті, які пропускає турмалін. Тому світло, що пройшло крізь турмалін, є сукупністю поперечних коливань одного напрямку, який визначено орієнтацією осі пластинки турмаліну. Таке світло називають плоскополяризованим, а кристал турмаліну — поляризатором світла. Другий кристал турмаліну є аналізатором: він майже повністю пропускає поляризоване світло, що збігається з площиною поляризації. Якщо ж аналізатор повернути на 90°, то вже поляризоване світло він практично не пропускатиме. Поляризація властива тільки поперечним хвилям. Якщо хвилі поляризуються, то вони є поперечними. Повздовжні хвилі не поляризуються.

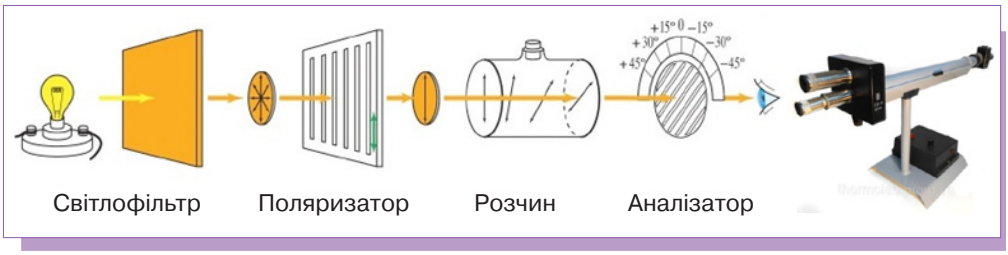
Окрім турмаліну, такі властивості має кварцова пластина, вирізана в певний спосіб з кристала. Прозорі плівки, що можуть бути поляризаторами й аналізаторами світла, називають поляроїдами відтоді, як засновник компанії «Polaroid» Едвін Герберт Ленд (1909 — 1991, США) у 1929 р. винайшов та випустив перші зразки поляризаційних лінз.

Поляризоване світло широко застосовують у наукових дослідженнях і в техніці. У багатьох випадках потрібно плавно регулювати освітлення того чи того об'єкта. Поставивши перед джерелом світла поляризатор й аналізатор, можна повільним повертанням аналізатора плавно змінювати освітлення об'єкта від максимального до повної темноти.

Поляроїди використовують для гасіння дзеркально відбитих відблисків, наприклад, під час фотографування картин, скляних і фарфорових виробів тощо. Світло відблисків частково поляризоване. Якщо помістити поляроїд між джерелом світла та віддзеркалювальною поверхнею, то відблиски можна зовсім погасити (мал. 6.25).

Мал. 6.25. Поляризація світла

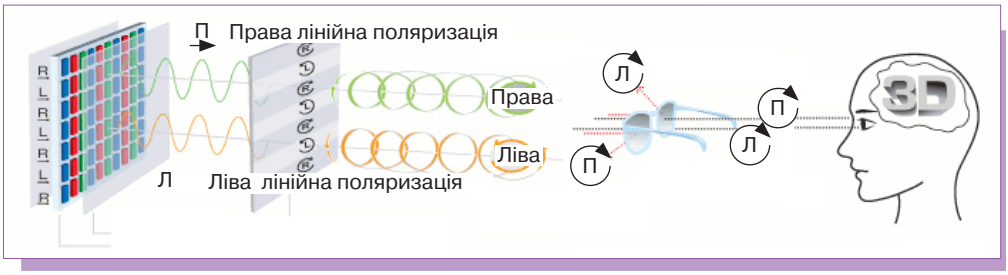
Виявлено також, що під час проходження плоскополяризованого світла крізь деякі розчини площина його поляризації повертається. Наприклад, світло проходить крізь поляризатор, а потім крізь розчин цукру в кюветі. Поляроїд-аналізатор за кюветою, розташований під кутом 90° до поляризатора, мав повністю погасити світло, але цього не сталося. Проте, якщо аналізатор повернути ще на деякий кут, світло буде погашено. Це означає, що розчин у кюветі повертає на цей кут площину поляризації. Такі речовини називають оптично активними.



Мал. 6.26. Принцип дії цукрометра

Оптична активність речовин зумовлена асиметрією молекул, які мають форму спіралі, як, наприклад, молекули деяких білків. Деякі речовини (цукор, декстроза, D-глюкоза) повертають площину поляризації вправо, а деякі речовини (амінокислоти, білки) — вліво. Кут повороту φ пропорційний концентрації розчину. Тому цю властивість використовують для виготовлення спеціальних пристроїв — цукрометрів, за допомогою яких установлюють вміст цукру (мал. 6.26).

Спеціальні поляризаційні окуляри використовують під час перегляду стереофільмів у кінотеатрах. Отримати зображення у 3D форматі можна й на домашньому комп'ютері за допомогою відповідних екранів. Завдяки цьому, використавши тонкі смужки плівок-поляризаторів, можна створити парні та непарні ряди пікселей, що мають різний напрямок поляризації. Лінзи окулярів є поляризаторами, у яких площини поляризації повернуто так, що крізь одну лінзу видно парні ряди, а крізь іншу — непарні. Так створюють зображення, які видно окремо лівим й окремо правим оком. Мозок людини зіставляє два зображення й «бачить» об'ємне зображення об'єкта спостереження (мал. 6.27).



Мал. 6.27. 3D-бачення

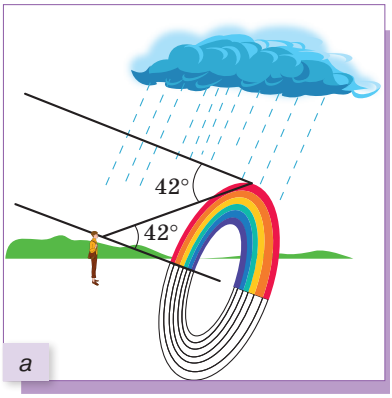
ТАЄМНИЦІ КОЛЬОРОВОЇ СМУГИ

До розглянутих на початку теми спектрів випромінювання й поглинання додамо ще один, спостерігати який ми можемо в природі. Загадка «Дощ пройшов, через ставок перекинувся місток. Кольорів у ньому сім, він подобається всім!» підкаже вам, про який саме спектр ідеться.

Поява кольорового спектра внаслідок проходження білого світла крізь скляну призму зумовлена тим, що світлові пучки різних кольорів заломлюються в склі по-різному: найбільше заломлюється світловий пучок фіолетового кольору, а найменше — червоного. Це означає, що світлові пучки різних кольорів в одному й тому самому середовищі поширюються з різною швидкістю. Світло червоного кольору поширюється найшвидше, а фіолетового — найповільніше.

Оптичні явища, зумовлені залежністю швидкості поширення світла в певному середовищі від його кольору називають *дисперсією* світла.

Саме дисперсією світла пояснюється утворення веселки внаслідок потрапляння сонячного світла на завісу дощу. Краплини води, діючи разом, подібно до безлічі «призм», заломлюють біле світло і створюють різнокольорове коло. Спостерігачу, як правило, видно лише дугу веселки, за умови, що він стоїть спиною до Сонця (мал. 6.28).



Мал. 6.28. Фізика веселки

У спектрі виокремлюють сім кольорів: червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий. Світлові пучки двох різних спектральних кольорів у разі накладання один на одного утворюють інші кольори. Так, спрямувавши в одну точку на екрані оранжеве та зелене світло, дістанемо пляму жовтого кольору. Особливе значення для нашого зору мають три основні кольори: червоний, зелений та синій. Змішуванням цих кольорів у різних пропорціях можна отримати всі відтінки, які може розрізняти око людини. При цьому зелений, червоний і синій кольори не можна дістати комбінацією інших кольорів спектра. На змішуванні трьох основних кольорів ґрунтується принцип дії кольорових телевізорів і моніторів, а обернений процес розкладання світлового потоку на три основні кольори лежить в основі принципу дії цифрових кольорових фото- та відеокамер.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Які хвилі називають когерентними?
2. Що таке інтерференція? Назвіть способи спостереження інтерференції.
3. Як зміниться вигляд багатоколірної мильної бульбашки, якщо освітити її монохроматичним світлом?
4. Кольорові яскраві смуги утворюються від краплі бензину лише тоді, коли вона падає на вологу, а не суху поверхню асфальту. Поясніть чому.
5. У чому полягає явище дифракції світлових хвиль і як його можна спостерігати?
6. Чи можливе явище інтерференції та дифракції з ультрафіолетовими, інфрачервоними й рентгенівськими променями?
7. Чим відрізняється поляризоване світло від природного? Як отримують поляризоване світло? Де на практиці застосовують явище поляризації світла?

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Спостереження інтерференції та дифракції світла

Обладнання: дві скляні пластинки або прилад для спостереження кілець Ньютона, розчин для мильних бульбашок, щілина змінної ширини (або штангенциркуль, або розрізи різної ширини в цупкому чорному папері), лазерний диск, лазерний ліхтарик.

1. Ретельно протріть скляні пластинки, зберіть їх докупи та стисніть пальцями. Спостерігайте пластинки у відбитому світлі на темному тлі, намагайтеся побачити яскраві райдужні кільця. Спостерігайте зміни цих кілець, змінюючи тиск на пластинки.
2. Спробуйте спостерігати інтерференційну картину, дивлячись крізь скляні пластини у вікно або на світлу поверхню.
3. Спостерігайте інтерференційну картину на мильній бульбашці.
4. Наблизьте до ока щілину завтовшки в кілька десятих часток міліметра, розташувавши її паралельно до трубки люмінесцентної лампи. Розглядаючи крізь щілину цю лампу, спостерігайте райдужні смужки навколо лампи. Запам'ятайте, у якому порядку розташовано кольори в райдужних смужках.
5. Змінивши ширину щілини (або виконавши спостереження крізь щілину іншої ширини), дослідіть уплив ширини щілини на дифракційну картину.
6. Спостерігайте відбиття білого світла від лазерного диска. Запам'ятайте, у якому порядку розташовано кольори у відбитому світлі.
7. Спостерігайте відбиття пучка червоного світла лазерного ліхтарика від лазерного диска.

Б. 7. СОНЦЕ

Уночі на небі спалахують міріади зір. І лише одну зорю ми бачимо вдень. І ця зоря — Сонце!!! Ще в далекій давнині люди розуміли, що без Сонця не було б життя на Землі, тому й називали його: стародавні греки — богом Геліосом, римляни — променистим Аполлоном або Фебом, а наші предки слов'яни — Ярилом

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Називати фізичні параметри Сонця.

Пояснювати внутрішню будову Сонця та його атмосфери.

Характеризувати Сонце як зорю, джерела енергії Сонця; склад сонячного випромінювання; активні процеси на Сонці (сонячні плями, факели, спалахи).

Уміти пояснювати механізм поширення енергії, видимий рух Сонця.

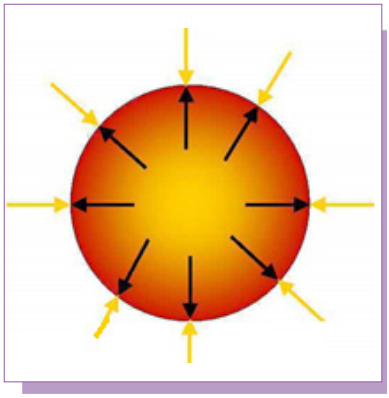
Виявляти результати впливу сонячної активності на життя та здоров'я людей, біосферу Землі, на техногенні, атмосферні та кліматичні процеси на Землі.

Оцінювати Сонце як головний космічний чинник, від якого залежить життя на Землі.

Дотримуватися правил спостереження за Сонцем

ЗОРЯ НА ЙМЕННЯ СОНЦЕ

Під час вивчення Сонця — найближчої до нас, і тому найдоступнішої для дослідження зорі, можна дізнатися про зорі в цілому, адже попри велике їхнє розмаїття в більшості з них загальні властивості однакові.



Мал. 7.1. «Боротьба» двох сил: гравітації та тиску газів

Наше світило, як і більшість зір, — багатошарова неймовірно гаряча плазмо-газова куля. Науковці стверджують, що Сонце існує вже близько 5 млрд років. Що ж забезпечує його існування? І чи може Сонце світити вічно?

За останні 150 років було висунуто багато гіпотез щодо природи джерел енергії Сонця та зір. Зрештою було з'ясовано, що реальне значення мають лише такі джерела, як *гравітаційне стискання* та *термоядерний синтез* (мал. 7.1).

Видатний астрофізик Йосип Самуїлович Шкловський (1916 – 1985, Україна) так висловився з цього приводу: «...Історія існування будь-якої зорі — це справді титанічна боротьба між силою гравітації, яка намагається її необмежено стиснути, та силою газового тиску, що намагається її «розпорошити», розсіяти в навколишньому міжзоряному просторі. Мільйони й мільйони років триває ця «боротьба». Упродовж цих років сили рівні. Та врешті-решт перемога буде за гравітацією. Така драма еволюції кожної зорі». Тож і наше Сонце не вічне. Однак нам немає чого хвилюватися, адже за оцінками вчених воно світитиме ще мільярди років.

Розгляньмо фізичні параметри Сонця (табл. 7.1.) порівняно із земними.

Таблиця 7.1.

Маса	$\approx 2 \cdot 10^{30}$ кг	≈ 330 000 земних мас а у 750 разів перевищує масу всіх інших планет, разом узятих
Радіус (екваторіальний), $R_\odot$	700 000 км	≈ 109 земних радіусів
Середня густина, $\rho_\odot$	1409 кг/м^3	0,255 густини Землі
Площа поверхні	$6{,}1 \cdot 10^{18}$ м^2	12 000 земних площ
Температура поверхні	≈ 6000 К	
Температура ядра	$\approx 15 \cdot 10^6$ К	
Світність, $L_\odot$	$3{,}85 \cdot 10^{26}$ Вт	

Зверніть увагу на середню густину Сонця — 1409 $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Це значення сумірне з густиною води Мертвого моря й у тисячу разів більше за густину повітря біля поверхні Землі. Таке середнє значення зумовлено тим, що в зовнішніх шарах Сонця густина в мільйони разів менша, а в центрі — у 100 разів більша, ніж середня густина. Речовина Сонця дуже йонізова-

на, тобто атоми втратили свої зовнішні електрони й разом з ними стали вільними частинками йонізованого газу — плазми.

Сонце складається з Гідрогену (~73 % маси і ~92 % об'єму), Гелію (~25 % маси та ~7 % об'єму) та інших елементів з меншою концентрацією (менше 2 % маси) — Феруму, Нікелю, Оксигену, Нітрогену, Силіцію, Сульфуру, Магнію, Карбону, Неону, Кальцію та Хрому. Хімічний склад визначено з аналізу сонячного спектра. Перші ґрунтовні дослідження спектра Сонця здійснив у 1815 р. фізик-оптик Йозеф фон Фраунгофер (1787 – 1826, Німеччина), який описав у спектрі Сонця понад 570 окремих темних ліній (мал. 7.2, *а*). У 1857 р. фізики Густав Роберт Кірхгоф (1824 – 1887, Німеччина) і Роберт Вільгельм Бунзен (1811 – 1899, Німеччина) (мал. 7.2, *б*) порівняли довжини хвиль фраунгоферових ліній з досліджуваними в земних лабораторіях довжинами хвиль, що їх випромінюють (і поглинають) відомі хімічні елементи. Так було ототожнено близько десяти елементів.

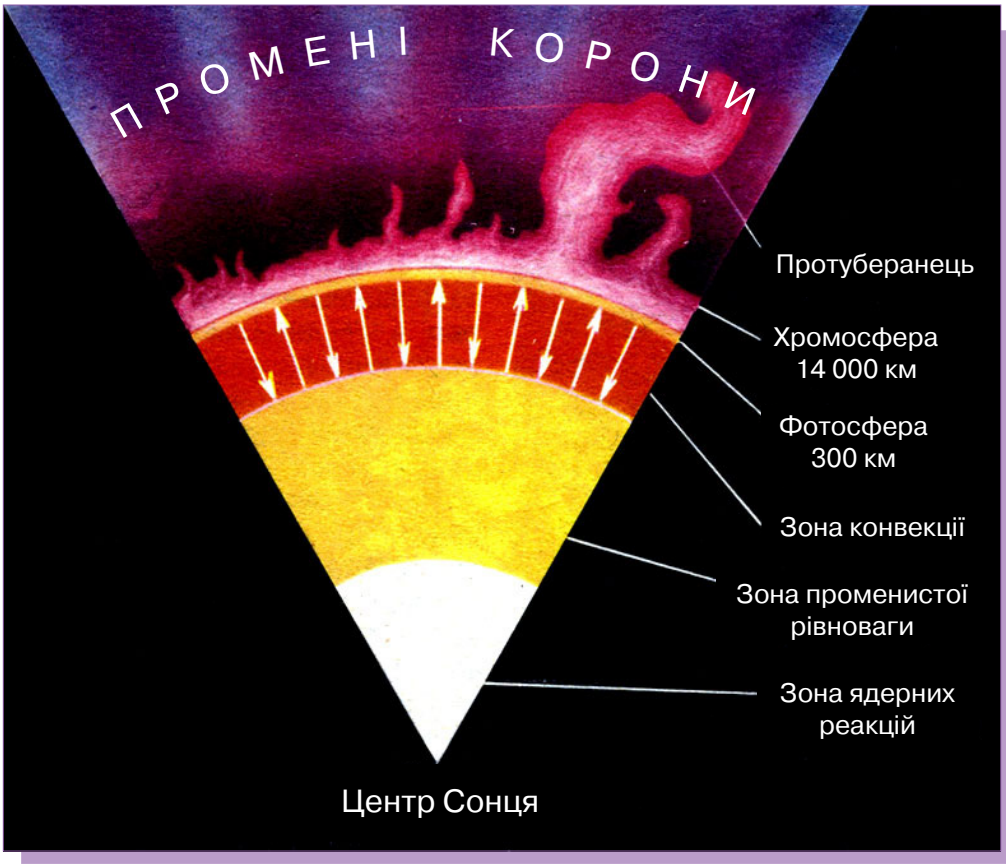
Мал. 7.2. Дослідники спектра Сонця: *а* — Й. Фраунгофер; *б* — Г. Кірхгоф і Р. Бунзен

Справжнім тріумфом астрофізики стало відкриття нового хімічного елемента — Гелію. Під час спостереження повного сонячного затемнення в 1868 р., англійський астроном Джозеф Лок'єр (1836 – 1920, Велика Британія) і незалежно від нього французький учений П'єр Жансен (1824 – 1907, Франція) виявили в спектрі Сонця яскраву жовту лінію поблизу лінії Натрію. Невідомий елемент, якому належала ця лінія, назвали Гелієм, що означало «сонячний». І лише в 1895 р. Гелій було виявлено на Землі під час досліджень спектрів певних мінералів.

Загалом у спектрі Сонця виявлено лінії 72 хімічних елементів і визначено їхню відносну кількість.

ІЗ САМОГО ЦЕНТРА СОНЦЯ

Залежно від температури й характеру процесів, зумовлених нею, Сонце умовно поділяють на зони з різним фізичним станом речовини та розподілом енергії: ядро, зона радіації, конвективна зона й атмосфера, у якій виділяють фотосферу, хромосферу, сонячну корону (мал. 7.3).



Мал. 7.3. Будова Сонця

У центрі Сонця міститься *ядро* — гігантська термоядерна «піч», розмір якої становить $\frac{1}{3}$ радіуса Сонця. У центрі Сонця густина газу становить близько $1{,}5 \cdot 10^5 \frac{кг}{м^3}$ (це в 13 разів більше, ніж у свинцю!), тиск — близько $2 \cdot 10^{18}$ Па, а температура — близько 15 000 000 К. За такої температури та тиску ядра атомів Гідрогену (протони) мають дуже великі швидкості (сотні кілометрів за секунду) та можуть стикатися одне з одним, незважаючи на дію електростатичної сили відштовхування. Унаслідок деяких зіткнень відбуваються ядерні реакції, у результаті яких з Гідрогену утворюються атоми Гелію та виділяється велика кількість теплоти.

У зоні *променистої рівноваги*, або *зоні радіації*, що оточує ядро на відстані від $\frac{1}{3}$ до $\frac{2}{3}$ радіуса Сонця, енергія поширюється внаслідок послідовного поглинання й подальшого перевипромінювання речовиною квантів електромагнітної енергії. До того ж замість одного поглинутого гамма-кванта великої енергії, атоми, зазвичай, послідовно випромінюють кілька

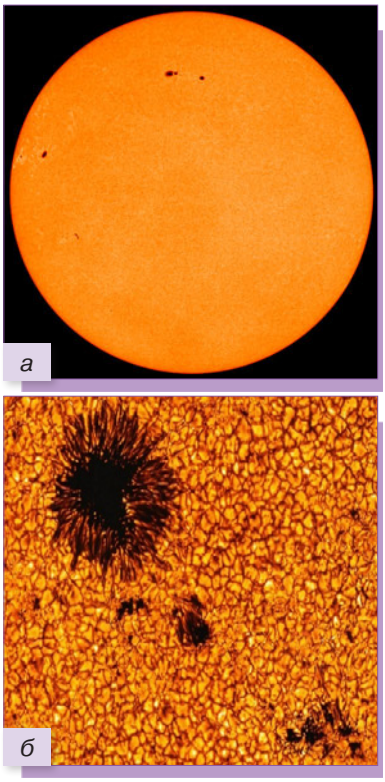
квантів з меншою енергією. Як наслідок, жорсткі γ-кванти дробляться на менш енергійні, і врешті-решт фотосфери дістаються кванти видимого та теплового випромінювання, які остаточно й вивільняються назовні. У цілому процес передавання енергії від центральних областей до фотосфери дуже повільний і триває мільйони років.

У *конвективній* зоні (від верхнього шару зони радіації майже до самої видимої межі Сонця — фотосфери) енергія передається вже не випромінюванням, а за допомогою конвекції, тобто перемішуванням гігантських бурхливих потоків газу, які трохи відрізняються один від одного температурою та густиною.

Відразу за конвективною зоною починається *сонячна атмосфера*, що простягається далеко за межі видимого диска Сонця. Нижній шар атмосфери (фотосфера) містить тонкий шар газів, який ми сприймаємо як поверхню Сонця. Температура фотосфери зменшується з висотою, і той її шар випромінювання, який сприймає людське око, має температуру близько 6000 К. За таких умов майже всі молекули розпадаються на атоми, і лише у верхніх шарах зберігається відносно небагато найпростіших молекул і радикалів, таких як H_2, OH, CH.

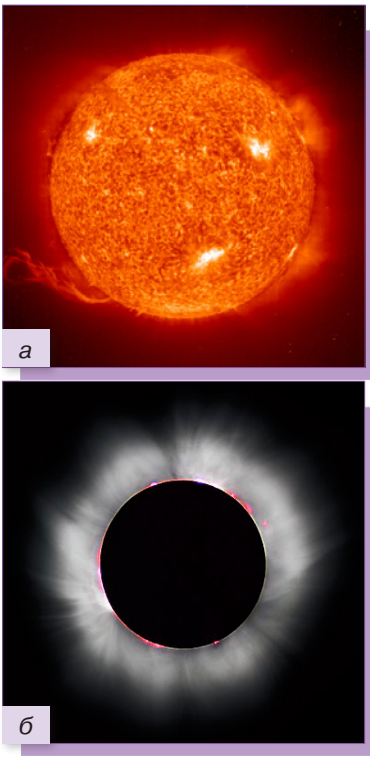
На фотознімку Сонця видно тонкі деталі фотосфери — гранули (мал. 7.4).

Температура гранул у середньому на 500 К вища, ніж у проміжках між ними, розміри — близько 700 км. Гранули виникають й існують близько 7 хв, після чого розпадаються, і на їхньому місці виникають нові. Дослідження показали, що гранули — це потоки гарячого газу, які піднімаються догори, тоді як у темних, дещо прохолодніших місцях, газ опускається вниз. Гранули свідчать про те, що під фотосферою в глибших шарах Сонця перенесення енергії до поверхні відбувається завдяки конвекції.



Мал. 7.4. Фотосфера (*а*), гранули і сонячні плями (*б*)

Над фотосферою міститься наступний шар атмосфери Сонця — хромосфера (мал. 7.5, *а*), яку можна побачити під час повного сонячного затемнення у вигляді вузького жовто-червоного кільця. Товщина хромосфери становить 12–15 тис. км, а температура зростає від 4500 К на межі з фотосферою до 100 000 К у її верхніх шарах. Сонячна хромосфера дуже неоднорідна: у ній є довгасті, схожі на язики полум'я утворення — так звані *спікули*. Тому хромосфера нагадує траву, що горить. Через спікули відбувається обмін речовини хромосфери з короною (мал. 7.5, *б*), яка знаходиться вище.



Мал. 7.5. Хромосфера (*а*) і корона (*б*) Сонця

Корона має сріблясто-білий колір і простягається на висоту в кілька сонячних радіусів і поступово переходить у міжпланетний простір. Її температура на межі з хромосферою становить 100 000 К, а далі зростає до 2 000 000 К.

Корона в мільйон разів тьмяніша за фотосферу та не перевищує яскравості Місяця вповні, тому її спостерігають лише під час повної фази сонячного затемнення або за допомогою спеціальних телескопів. Корона не має чітких обрисів, її неправильна форма змінюється з часом.

Найвіддаленіші частини корони не утримуються сонячним тяжінням, і тому речовина корони неперервно витікає в міжпланетне середовище, унаслідок чого виникає сонячний вітер. Речовина сонячного вітру складається переважно з ядер атомів Гідрогену (протонів) і Гелію (α-частинок). Біля основи корони швидкості частинок не перевищують $0{,}3\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Однак на відстані орбіти Землі їхні швидкості досягають $500\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

Сонячний вітер поширюється на велику відстань, майже за орбіту Сатурна, та утворює велетенську геліосферу, яка межує з найбільш розрідженим міжзоряним середовищем.

В атмосфері Сонця, крім плям і грануляції, часто можна спостерігати *факели* (ділянки з підвищеною температурою), *протуберанці* (пасма сонячної речовини), а також *спалахи* — доволі швидкі й енергетично дуже потужні явища. Усі ці утворення належать до проявів активності Сонця, що змінюється циклічно.

СОНЦЕ І ЗЕМЛЯ

Сонце — головний об'єкт Всесвіту, від якого залежить життя на Землі. Взаємозв'язок фізичних процесів, що відбуваються на Сонці, з геофізичними явищами та процесами в біосфері нашої планети, — один з яскравих проявів єдності нашого Всесвіту.

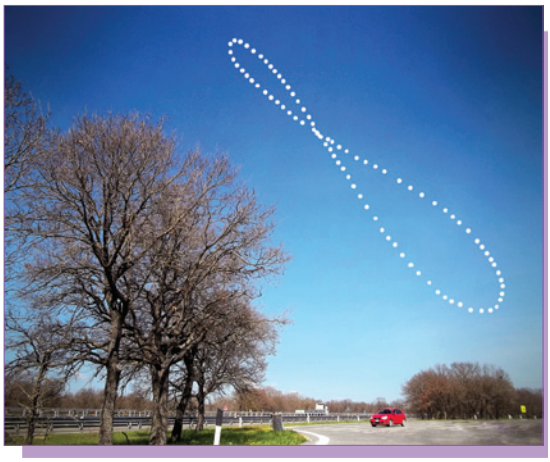
Щоранку ми «зустрічаємо» Сонце на сході, а ввечері «проводжаємо» на заході. Улітку ховаємося від пекучого Сонця, що світить високо над головою, а взимку його косі промені майже не гріють.

Спостережуваний рух Сонця спричинений обертанням Землі навколо осі та її рухом довкола Сонця. Перше зумовлює видимий рух Сонця впродовж доби, а друге — упродовж року, що разом створює картину руху Сонця (мал. 7.6):

- місця сходу і заходу Сонця щодня змінюються (а зорі завжди сходять і заходять у тих самих точках горизонту);
- висота Сонця над горизонтом змінюється щодня (а висота зір — завжди стала); тривалість дня (чи ночі) протягом року змінюється, а зорі над горизонтом перебувають завжди однакову кількість часу.

Мал. 7.6. Особливості складеного руху Сонця: річного — екліптикою; й добового — унаслідок обертання небесної сфери

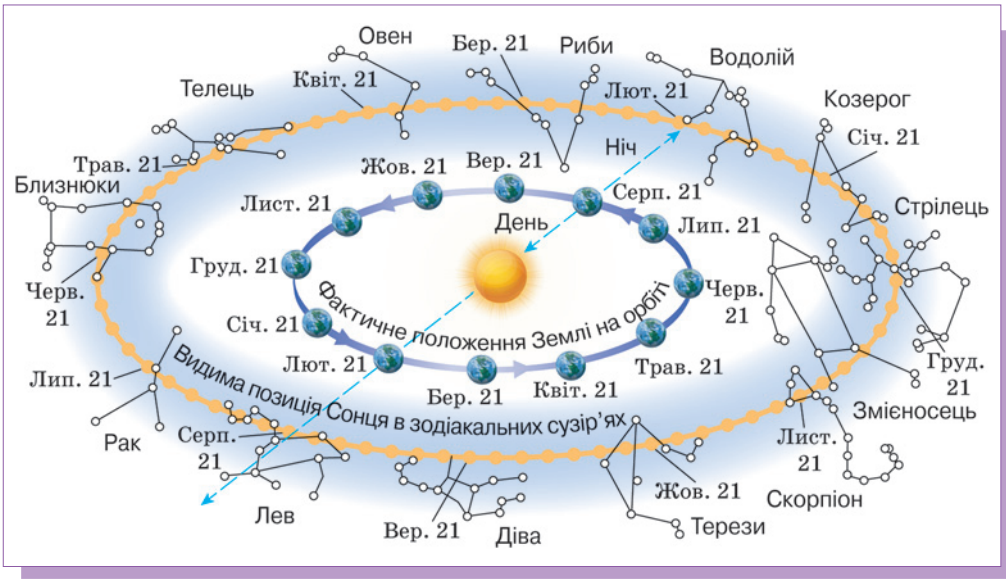
Якщо нерухому закріплену фотокамеру спрямуємо в південну частину неба й щоденно в полудень робитимемо знімок на той самий фотокадр, то дістанемо траєкторію, яку описує центр сонячного диска за час фотографування — аналему. Ця траєкторія нагадує «вісімку» (мал. 7.7).



Мал. 7.7. Аналема

Реальне обертання Землі навколо Сонця зумовлює «річний рух Сонця» — нам видається, що Сонце рухається поміж зір деякою траєкторією — екліптикою (мал. 7.8). Походження назви (екліптика — від грец. εκλειψις — «затьмарення») пов'язано з тим, що місячні й сонячні затемнення відбуваються лише тоді, коли Місяць у своєму русі небосхилом перетинає екліптику.

У своєму видимому річному русі небесною сферою Сонце проходить поміж різних зір, розташованих уздовж екліптики. Ще в давні часи ці зорі розділили на 12 сузір'їв, більшості з яких дали імена тварин. Смугу неба, утворену цими сузір'ями, назвали Зодіаком (коло тварин), а сузір'я — зодіакальними.



Мал. 7.8. Екліптика — слід видимого руху Сонця

Видимий рух Сонця відбувається із заходу на схід (назустріч добовому обертанню неба). За рік Сонце здійснює небесною сферою один оберт (360°).

Реально це Земля за рік обертається навколо Сонця й одночасно навколо своєї осі. При цьому вісь обертання Землі нахилена до площини орбіти Землі під кутом 23° 26′ і під час руху Землі навколо Сонця зберігається паралельною сама собі. Як наслідок, промені Сонця впродовж року падають на земну поверхню в тих самих широтах під різними кутами. Саме це є причиною зміни пір року (мал. 7.9).

Мал. 7.9. Пояснення зміни пір року

Сучасний нахил осі обертання до площини орбіти є оптимальним для різноманітних кліматичних зон на поверхні Землі — від тропіків до

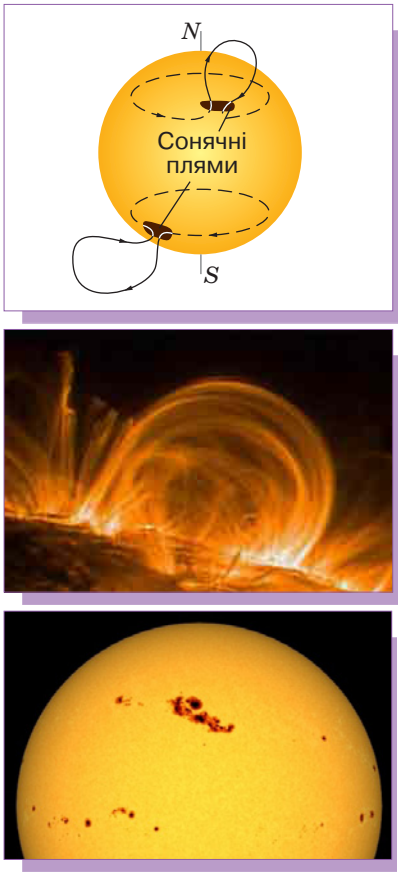
Полярного кола. Усі інші варіанти зміни кута нахилу осі обертання Землі призвели б до катастрофічних змін клімату та глобальної екологічної катастрофи. Наприклад, якби вісь обертання Землі була нахилена до площини орбіти під кутом 50°, то Полярне коло проходило б Україною, а тропіки — Чорним морем. На наших широтах улітку протягом місяця Сонце не заходило б за горизонт. Розрахунки показують, що літня температура в Україні досягала б критичних для життя меж від +60 до +80 °С. В іншому випадку, якби вісь обертання Землі була перпендикулярною до площини орбіти, зміни пір року взагалі не було б, тому Європа могла б перетворитися на холодну напівпустелю (на кшталт тундри).

Сонце випромінює ультрафіолетові, видимі, інфрачервоні, рентгенівські та гамма-хвилі. Вони поширюються зі швидкістю $3 \cdot 10^5 \ \frac{км}{с}$, і вже через 8 хв досягають орбіти Землі, віддаленої від Сонця на $1{,}5 \cdot 10^8$ км. Інтенсивність випромінювання настільки велика, що навіть на такій далекій відстані вона становить близько 1300 $\frac{Вт}{м^2}$. Земля отримує лише малу частку сонячної енергії, однак цієї енергії, що досягає верхніх шарів атмосфери, достатньо, щоб у десятки тисяч разів задовольнити енергетичну потребу всієї земної кулі. Із Сонця весь час витікає плазма зі швидкістю 300–400 $\frac{км}{с}$ — сонячний вітер, що теж досягає Землі.

Видиме випромінювання стале, а ультрафіолетове й рентгенівське змінюється залежно від зміни активності Сонця. Поступово в атмосфері Сонця виникають утворення, що контрастують із загальним виглядом його поверхні. Це — плями й факели у фотосфері, протуберанці в короні, а також сонячні спалахи. Усі ці явища зумовлені потужними магнітними полями на Сонці. Їхню появу й розвиток називають *проявами сонячної активності*.

Сонячні плями — це темні утворення на Сонці, які є областями виходу у фотосферу сильних магнітних полів (мал. 7.10).

Кількість плям на Сонці — один з основних показників сонячної магнітної активності. Кількість сонячних плям змінюється з 11-річним сонячним циклом. У рік найбільшої активності спостерігають понад 100 плям, найменшої — усього кілька.



Мал. 7.10. І на Сонці є плями...

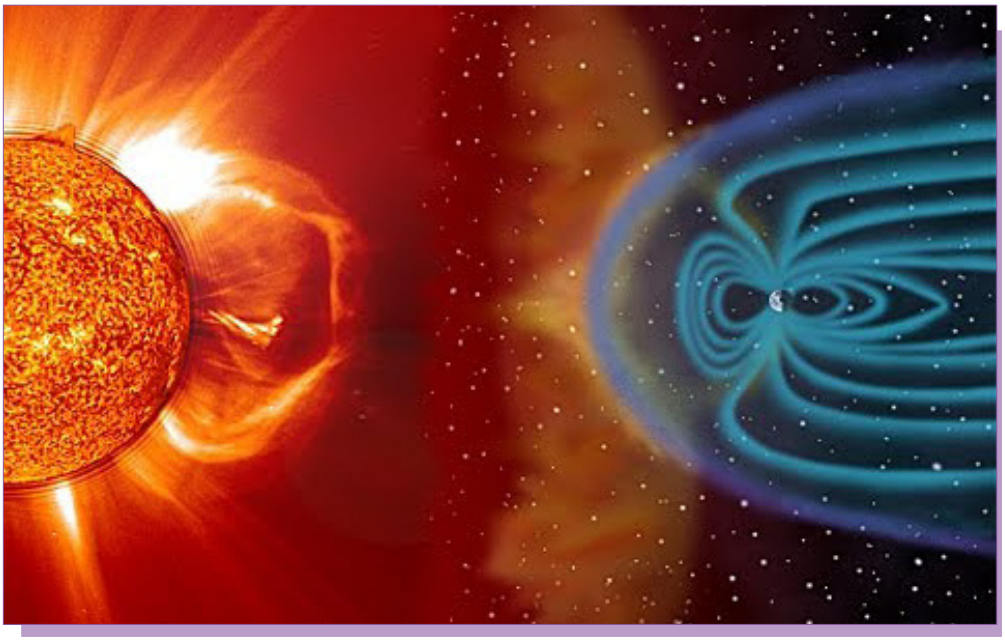
Тривалість існування плями може коливатися від кількох годин до кількох місяців. Розміри — від тисячі кілометрів до кількох сотень тисяч кілометрів (декілька діаметрів Землі).

Факели — повсякчасні супутники плям — це місця, де на поверхню Сонця піднімається гарячіша речовина, ніж в інших ділянках фотосфери. Майже завжди факели виникають трохи раніше, ніж плями, й існують у середньому втричі довше,.

Одним з найцікавіших і найпотужніших проявів сонячної активності є спалахи — процеси, що охоплюють усі шари атмосфери Сонця. Найслабші спалахи тривають 5–10 хв, а найпотужніші бушують упродовж кількох годин.

На краю сонячного диска в спеціальний телескоп можна побачити протуберанці. Їх не треба плутати зі спалахами. Протуберанці існують постійно — це щільні холодні хмари водню атомів Гідрогену, які піднімаються в корону й рухаються вздовж магнітних силових ліній. Завдяки протуберанцям відбувається обмін речовин між хромосферою та короною.

Спалах виникає між двома плямами з протилежною полярністю. Під час спалаху енергія випромінюється в основному в невидимій частині спектра (радіо, ультрафіолетовому та рентгенівському діапазоні).



Мал. 7.11. Спалах на Сонці

Під час сонячного спалаху відбувається викид у міжпланетний простір підсиленого потоку заряджених частинок, які вже через 10–12 год досягають Землі й викликають збурення її магнітного поля (магнітні бурі) та свічення іоносфери, що проявляється у вигляді інтенсивних полярних сяйв (мал. 7.11).

Уплив сонячної активності відчуває техносфера й біосфера планети, і часом вона спричиняє негативні наслідки. Зазнають аварій космічні апарати; виходить з ладу електроніка авіалайнерів, що здійснюють польоти поблизу полюсів; перегорають електротрансформатори, що призводить до аварій у лініях електропередач; посилюється корозія металевих труб магістральних нафто- і газоводів тощо.

Потужні сонячні спалахи й спричинені ними магнітні бурі можуть змінювати циркуляцію земної тропосфери, а також упливати на поведінку організмів, зокрема людини. Медична статистика свідчить, що в дні, коли відбуваються сильні спалахи, у півтора-два рази збільшується кількість захворювань серцево-судинної системи (інфаркт міокарда, інсульт тощо) і кількість смертей. Відомо також про кореляцію між появою спалахів і зростанням кількості дорожньо-транспортних пригод.

Від 1900 року збитки від різного роду катастроф, пов'язаних із сонячною активністю, оцінюють у трильйони доларів. Щоб завчасно передбачити вплив сонячної активності на біосферу та соціально-економічну систему Землі, необхідно проводити моделювання «космічної погоди», яке неможливе без моніторингу глобальних змін Сонця на тривалих відрізках часу. *Геліобіологія* — розділ біофізики, що вивчає вплив змін активності Сонця на земні організми. Основоположником геліобіології є фізик Олександр Леонідович Чижевський (1897 – 1964, Росія). Його перша робота в цій галузі побачила світ у 1915 р., однак на зв'язок між коливаннями активності Сонця та багатьма проявами життєдіяльності в мешканців Землі вказували до нього Сванте Арреніус (1856 – 1927, Швеція) та інші науковці.

Феномен «космічної погоди» нині визнано одним з найважливіших завдань, що потребує вивчення.

Наше світило випромінює колосальну кількість світлової та теплової енергії. Питання, на скільки вистачить «пального», продовжує цікавити вчених. За їхніми підрахунками Сонце щосекунди випромінює енергії в 100 000 разів більше за енергію, вироблену людством за всю свою історію. До того ж маса Сонця щосекунди зменшується на 4,26 млн тонн! Цифри приголомшливі. Та якщо розглянути їх у порівнянні, то виходить не так страшно, оскільки загальна маса Сонця становить $2 \cdot 10^{30}$ кг й цього вистачить на мільярди років.

До початку XX ст. ніхто й припустити не міг, звідки береться безмежне джерело енергії Сонця. Це були фундаментальні питання фізики кінця позаминулого століття, на які людство довго не могло знайти зрозумілої відповіді. Щоб збагнути ці секрети Сонця й заповнити величезну прогалину в наукових знаннях, потрібен був принципово новий підхід. Для цього нашій цивілізації знадобився геній — Альберт Ейнштейн. Виведена ним формула $E = mc^2$ довела, що зорі можуть добувати енергію всередині атомних частинок. Це дивно, однак маленька субатомна частинка живить гігантські небесні світила мільйони та навіть мільярди років. Завдяки Ейнштейну стало відомо, як вивільнити цю колосальну енергію, приховану в ядрі атома... Тепер вчені намагаються змоделювати зорю, подібну до Сонця, щоб здійснити термоядерний синтез у земних умовах на установках Токамак (тороїдальна установка для магнітного утримання плазми).

У цих величезних магнітних «пляшках» атоми Гідрогену зіштовхуються за температури в 160 млн градусів і рухаються настільки швидко, що долають природну силу відштовхування. Атоми, що летять зі швидкістю понад 1000 км/с, зіштовхуються один з одним і зливаються: утворюється новий хімічний елемент — Гелій — і виділяється колосальний обсяг чистої енергії. Токамак може підтримувати синтез лише тисячні долі секунди, але всередині Сонця такий процес відбувається безперервно протягом мільярдів років. Причини прості — розміри й тиск.

Унаслідок різних складних взаємодій в атмосфері до земної поверхні доходить лише частина випромінювання Сонця. Руйнівні для життя гамма-промені, ультрафіолетове й рентгенівське випромінювання повністю поглинаються земною атмосферою (мал. 7.12).

Мал. 7.12. Частина сонячного випромінювання досягає поверхні Землі

Якби Земля була позбавлена атмосфери, то середня температура її поверхні становила б 23 °С, а завдяки атмосфері річна температура поверхні Землі — 14,8 °С. Атмосфера затримує також частину космічних променів і слугує «бронею» проти руйнівної дії метеоритів. Наскільки великим є захисне значення земної атмосфери, свідчить поцяткована метеоритними кратерами поверхня Місяця, позбавлена атмосферного захисту.

Спектральний склад сонячного випромінювання, що надходить до Землі, залежить від пори року, погоди, географічної широти й висоти над рівнем моря. Наприклад, чим далі від екватора, тим сильніше короткохвильова межа зсувається в бік довгих хвиль, оскільки в цьому випадку світло падає на поверхню під гострим кутом і проходить більшу відстань в атмосфері, а тому сильніше поглинається. На положення короткохвильової межі впливає й товщина озонового шару, тому під «озоновими дірками» на поверхню Землі потрапляє більше ультрафіолету.

Докладніше про роль атмосфери й магнітного поля Землі і взаємодію їх із сонячним випромінюванням дізнаєтеся в розділі «Земля».

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Як довести, що Сонце — це звичайна зоря, тільки розташована найближче до нас?
2. «Боротьба» яких сил забезпечує тривале існування зорі? Чому з часом усе-таки перемагає сила тяжіння?
3. Який хімічний елемент є основним «паливом» на Сонці? Що зумовлює термоядерні реакції, які відбуваються в ядрі Сонця?
4. Енергія передається від одних тіл до інших у три основні способи. Це: а) теплопровідність, б) конвекція, в) випромінювання. Який з них переважає в надрах Сонця?
5. Назвіть відмінності в переносі енергії від ядра до поверхні Сонця в різних його шарах. Про що свідчать гранули у фотосфері Сонця?
6. Чи має Сонце поверхню у звичному для нас розумінні цього слова?
7. Чим переважно визначено найголовніші геометричні й фізичні характеристики Сонця (зір) — розміром, температурою, спектром тощо? Чому?
8. У сонячному спектрі немає лінії якогось хімічного елемента. Чи є це доказом того, що цього елемента насправді немає на Сонці? Чому?
9. Які явища астрономи називають «сонячною активністю»?
10. Що є причиною утворення сонячних плям?
11. Які факти, взяті зі спостережень, переконують нас у тому, що Сонце — велетенський магніт?
12. Сонячні спалахи та протуберанці: у чому різниця?
13. Які процеси на Сонці можуть суттєво впливати на стан земної атмосфери?
14. Магнітні бурі негативно впливають на здоров'я людини. Який механізм їхнього виникнення? Які основні прикмети?

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Спостереження за Сонцем он-лайн

http://spacegid.com/izobrazheniya-solntsa-so-sputnika-soho.html

ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Сонце у світовій культурі.

- Побудова аналеми. Аналеми на інших планетах. Сонячний годинник з аналемою.
- Геліобіологія.
- Космічна погода.

Б. 8. ЗОРІ

Що зорі нам сьогодні віщують? Чому зорі видно лише вдень? Як без термометра можна виміряти температуру зорі? Чи знаєте ви, яка найяскравіша зоря на небі? Як народжуються й умирають зорі? Що таке наднова зоря? Чорна діра? Пульсар? Можете відразу відповісти на ці запитання? Якщо ні, не хвилюйтеся. Кілька уроків — і ви знатиметеся на зоряному небі!

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Знати й *розуміти* поняття сузір'я, протозоря, зоря, основні характеристики зір.

Називати основні фізичні характеристики зір; методи визначення відстаней до зір, оцінювати значення цефеїд для визначення відстаней у Всесвіті, факти, що свідчать про матеріальну єдність світу в контексті його еволюції.

Розрізняти зорі та планети.

Наводити приклади різних типів зір; пояснювати відмінності між зорями різних типів, залежність кольору зорі від її температури; класифікувати зорі за їхніми характеристиками.

Пояснювати природу нових і наднових зір; кругообіг речовини у Всесвіті; описувати основні етапи еволюції зорі.

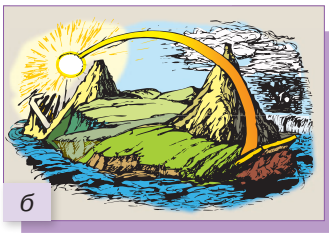
Проводити спостереження зоряного неба, пояснювати зміну вигляду зоряного неба, уміти орієнтуватися за Полярною Зорею.

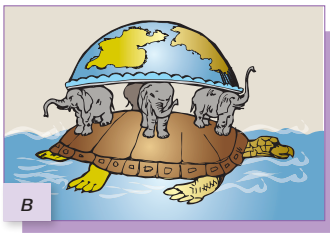
Оцінювати еволюційний характер діаграми Герцшпрунга — Рессела, зоряну еволюцію як важливий чинник розвитку Всесвіту в цілому

УВІКОВІЧЕНІ НА НЕБІ

Якби ми з вами проводили урок вечірньої пори на подвір'ї школи, та ще й у безхмарну безмісячну ніч і з телескопом, то нашому зору відкрилася б велична картина зоряного неба. Спостереження зоряного неба — це маса позитивних вражень, неповторні переживання, глибоке естетичне задоволення. І в той самий час — спостереження зоряного неба завжди викликає безліч запитань. Як все це утворилося? Як воно існує? Що там далі в безмежному просторі?

Перші уявлення про світобудову (мал. 8.1.) були дуже наївними, вони тісно перепліталися з релігійними віруваннями, в основу яких було покладено поділ світу на дві частини — земну й небесну. Якщо зараз кожна дитина знає, що Земля — це небесне тіло, то раніше «земне» протиставлялося «небесному». Думали, що існує «твердінь небесна», до якої прикріплені зорі, а Землю приймали за нерухомий центр світобудови.





Як ще не було початку світа,
То ще не було неба, ні землі.
А лишень було широке море,
А на тім морі явір зелений,
На тім яворі три голубочки,
Три голубочки раду радили:
«Як би ми, браття, світ поставили?
Ой ходім, браття, аж на дно моря
Та там добудем дрібного піску.
Тот пісок дрібний посієм всюди,
Та встане з него свята землиця,
Та буде тамки золотий камінь,
З того каменя та буде сонце,
То буде сонце і місяць ясний,
Рум'яна зоря і звізди прекрасні.
(*З української щедрівки*)

Про світобудову в уявленнях українців читайте додатково

Мал. 8.1. Уявлення про світобудову в єгиптян (*а*), у Стародавньому Вавилоні (*б*), в Індії (*в*) та в Україні (*г*)

Здійснювані систематично спостереження за зоряним небом дослідники аналізували та фіксували. За результатами досліджень вони дійшли висновку, що у Всесвіті є не лише зорі, а й інші об'єкти, їх назвали планетами, кометами, метеоритами, галактиками тощо. Для того щоб орієнтуватися в цій величезній кількості нічних вогнів, люди відвіку намагалися

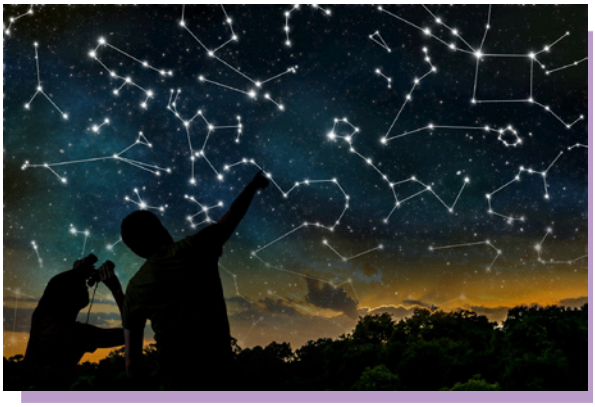
розділити їх на окремі групи — сузір'я, давши їм назви залежно від того, яку картину вони уявляли, подумки сполучивши лініями зорі в групах (мал. 8.2).

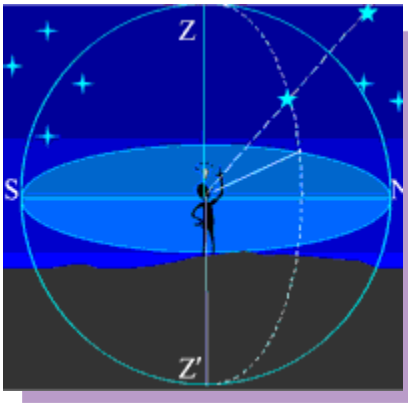
Сузір'я — це пам'ятники стародавньої культури людства, його міфів, його першого інтересу до зір. Історикам астрономії й міфології вони допомагають зрозуміти спосіб життя та мислення стародавніх людей. Наукового значення групування зір в сузір'ях немає. Міжнародним астрономічним союзом у 1922 р. все небо розділено на 88 сузір'їв. Надалі ці межі й назви сузір'їв вирішено вважати незмінними, також як і назви яскравих зір.

Українські назви зір і сузір'їв здебільшого є перекладами грецьких або латинських назв. Нарівні з ними щодо окремих сузір'їв в Україні вживають народні назви. Так, Велика Ведмедиця — це «Великий Віз (Ківш)», Мала Ведмедиця — «Малий Віз», Кассіопея — «Борона» чи «Пасіка», Дельфін — «Криниця», пояс Оріона — «Косарі», Орел — «Дівчина з відрами», зоряне скупчення Гіади, що утворюють голову Тельця, — «Чепіги», а зоряне скупчення Плеяди — «Стожари». Ну, і назва нашої Галактики — Чумацький Шлях.

Зір, яких можна побачити вночі неозброєним оком, є близько 6000 (зрозуміло, що нікуди вдень зорі не зникають, їх засвічує своїм світлом найближча до нас зоря — Сонце).

Для того щоб швидко знаходити об'єкти на небесній сфері, необхідні зоряні карти. Щоб скласти карту зоряного неба, погляньмо на нього. Нам здається, що всі небесні світила розташовані на однаковій відстані, ніби світять на поверхні велетенської сфери, хоча насправді це не так, зорі розташовані на різних відстанях, одні ближче до нас, інші — далі (мал. 8.2).



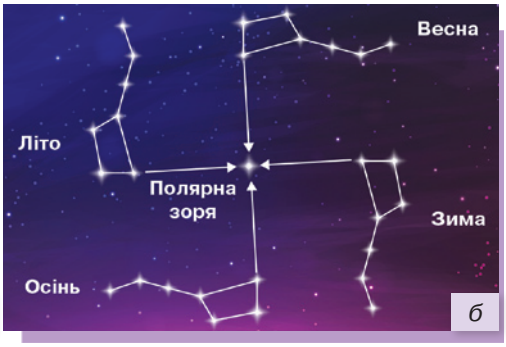


Мал. 8.2. Погляньмо на небо!

Тепер потрібно сферичну поверхню спроектувати на площину. Цю непросту проблему свого часу розв'язали картографи, які навчилися відтворювати на плані ділянки земної кулі. Зверніть увагу, ви не знайдете на зоряних картах ні Сонця, ні Місяця, ні планет. Чому? З тієї самої причини, чому на карті Землі ви не бачите величезних айсбергів. Ці об'єкти переміщаються в космічному просторі, як і айсберги в океанах Землі.

Положення зір на небосхилі теж невпинно, від вечора до вечора, змінюється. Але ця зміна вигляду зоряного неба свідчить про те, що Земля обертається навколо власної осі та рухається навколо Сонця. Самі ж зорі залишаються практично на своїх місцях.

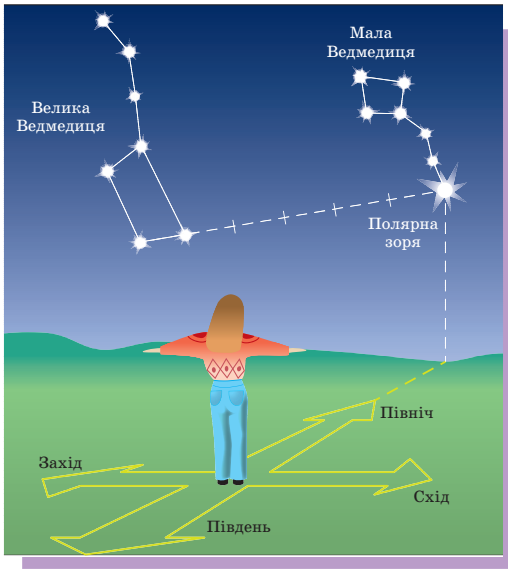
За добу Земля обертається навколо осі, а нам видається, ніби зорі описують на небі кола (мал. 8.3, *а*).



Мал. 8.3. *а* — Рух зір на небесній сфері, зафіксований за допомогою фотоапарата; *б* — Зміна положення сузір'я Великої Ведмедиці впродовж року

Обертом Землі навколо Сонця пояснюють зміну вигляду зоряного неба впродовж року. Зокрема, зорі, які навесні безпосередньо після заходу Сонця підіймаються над горизонтом на сході, через три місяці цієї самої пори доби височіють у його південній частині. Ще через три місяці вони зникають у вечірній заграві на заході. Є сузір'я, які можна спостерігати над територією України цілий рік, а є такі, що можна спостерігати тільки певної пори року. Так, сузір'я Оріон можна побачити в Україні лише взимку, а сузір'я Стрілець і Скорпіон — тільки влітку. Цілий рік на небі красуються: Велика й Мала Ведмедиці, Кассіопея, Цефей, Дракон, Жираф та Рись. На малюнку 8.3, *б* зображено, як змінюється положення сузір'я Великої Ведмедиці впродовж року.

Лише Полярна зоря практично нерухома й розташована над Північним полюсом. Тож за нею досить легко визначити сторони світу. Але спершу потрібно знати, як віднайти на небі Полярну зорю (мал. 8.4). На ясному зоряному небі неважко побачити Велику й Малу Ведмедиці. Крайня зоря в ковші Малої Ведмедиці — це і є Полярна зоря. Якщо безпосередньо Малу Ведмедицю видно пога-

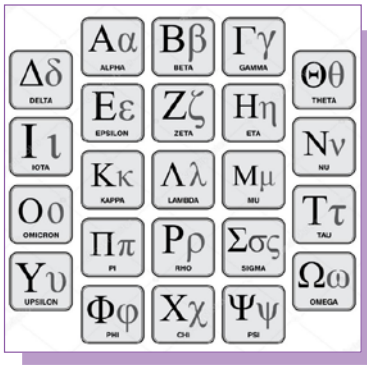


Мал. 8.4. Як віднайти на небі Полярну зорю

но, то умовно з'єднують дві крайні зорі ковша Великої Ведмедиці, продовжують цей відрізок п'ять разів — там і розташована Полярна зоря.

Стаємо до Полярної зорі обличчям. За спиною в нас буде південь, по праву руку — схід, по ліву — захід.

ЯКА З ВАС НАЙЯСКРАВІША?

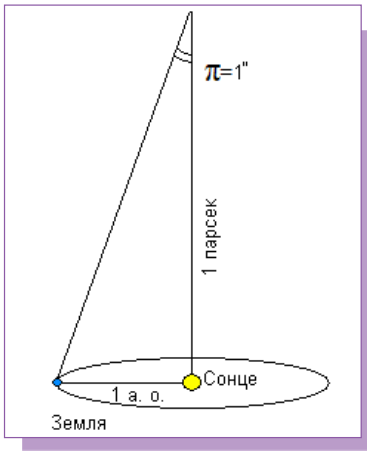


Простим оком помітно, що видима яскравість зір різна: одні зорі дуже яскраві й чітко виділяються поміж інших, інші — менш яскраві, а є й дуже слабкі, ледве помітні неозброєним оком. Більшість зір доступна для спостережень лише в телескоп. Для окомірної оцінки світлової енергії, яка надходить від світил, створено спеціальну зоряну шкалу величин, започатковану астрономом Гіппархом (Давня Греція, II ст. до н. е.). Він розділив усі видимі зорі за яскравістю на 6 своєрідних класів — 6 зоряних величин. Найяскравіші зорі Гіппарх назвав зорями 1-ї величини, менш яскраві — зорями 2-ї величини тощо, а ледве помітні — 6-ї величини. Тобто, що яскравіший об'єкт, то менша його видима зоряна величина. Дуже яскраві небесні світила мають від'ємну зоряну величину.

Слово «видима» в назві означає лише те, що зоряну величину спостерігають із Землі. Видима зоряна величина не дає інформації про справжню потужність джерела світла (наприклад, близька свічка краще освітлює текст, ніж далека електрична лампочка). Тому для характеристики зір введено *абсолютну зоряну величину*.

Абсолютна зоряна величина — це така зоряна величина, яку б мала зоря, якби перебувала від нас на відстані 10 парсеків (32,6 світлового року).

У визначенні цього поняття застосовують термін парсек (пк) та світловий рік (св. р.). З'ясуємо, що це таке і як визначають відстані до небесних світил в астрономії. Розглянемо малюнок 8.5. Кут π, під яким із зорі було б видно середній радіус земної орбіти, за умови, що напрямок на зорю перпендикулярний до радіуса, називають річним паралаксом зорі. Термін парсек (пк) утворено від слів «паралакс» і «секунда». Це така відстань, з якої середній радіус земної орбіти видно під кутом 1″ (секунда дуги).



Мал. 8.5. Астрономічна відстань — парсек

1 пк ≈ 3,26 св.р. ≈ 206 265 а.о. ≈ $3{,}08 \cdot 10^{15}$ м;
1 а. о. (астрономічна одиниця) = 149 597 870,7 км — це середня відстань від Землі до Сонця;
1 св. р. (світловий рік) ≈ $9{,}46 \cdot 10^{15}$ м — це відстань, яку проходить світло за рік зі швидкістю 300 000 км/с.

Відстань найближчої до Землі зорі Проксима (що грецькою означає «найближча») становить 1,3 пк ≈ 4,2 св. р. Проте українці зможуть її побачити під час подорожі до Південної півкулі Землі. З яскравих зір, які можна бачити з території України, найближче до нас перебуває зоря Сіріус (α Великого Пса), відстань до якої 2,6 пк ≈ 8,8 св. р.

Позначати зорі в сузір'ях літерами грецької абетки α (альфа), β (бета), γ (гамма) тощо в міру зменшення їхньої яскравості почав на початку XVII ст. астроном Йоганн Байєр (1572 – 1625, Німеччина) у своєму зоряному атласі. До сучасних каталогів включено понад мільярд зір та інших об'єктів Всесвіту. Природно, що букв грецького алфавіту астрономам не вистачило, тому були придумані інші способи позначення. Понад 250 яскравих зір мають власні імена. Більшість цих назв походить зі Сходу та Давньої Греції. Над територією України найяскравішими є Сіріус (α Великого Пса), Вега (α Ліри), Капелла (α Візничого), Спіка (α Діви), Арктур (α Волопаса).

Послідовність зір за видимою зоряною величиною така: Сонце, Сіріус, Арктур, Вега, Капелла, Альтаїр.

А якби всі ці зорі були розташовані на відстані 10 пк, то послідовність найяскравіших уже була б іншою: Капелла, Арктур, Вега, Сіріус, Альтаїр, Сонце.

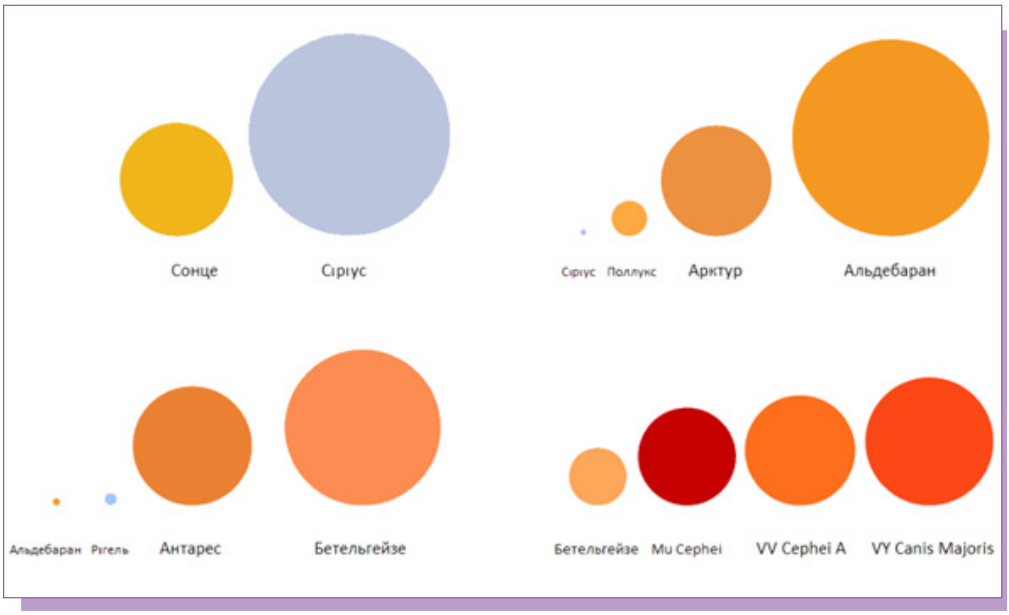
ЧИ ВСІ ВИ ОДНАКОВІ?

Чим ще окрім яскравості відрізняються зорі? Розмірами, температурою, масою, кольором, світністю, віком, розташуванням? Так, за всіма цими параметрами можна класифікувати й порівнювати зорі.

Світність зорі визначає кількість енергії, що вона випромінює за одиницю часу, тобто потужність її випромінювання. За одиницю світності в астрономії приймають потужність випромінювання Сонця $4 \cdot 10^{26}$ Вт. У порівнянні із Сонцем світність деяких зір має такі значення:

Сонце	1
Альтаїр	10
Сіріус	23
Вега	54
Арктур	102
Капелла	150
Полярна	17 600
Бетельгейзе	25 000
Рігель	70 000

За розмірами розрізняють: зорі-надгіганти (мають найбільший розмір), зорі-гіганти, зорі-карлики (Сонце — це зоря-карлик), нейтронні зорі (зовсім малі). На малюнку 8.6 показано розміри деяких зір у порівнянні.



Мал. 8.6. Розміри деяких зір у порівнянні

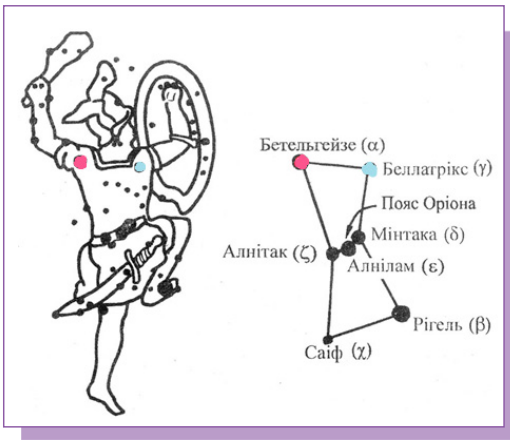
Якби зоря Бетельгейзе опинилася на місці Сонця, то зайняла б собою частину Сонячної системи аж до орбіти Марса.

За розташуванням: поодинокі та кратні (зв'язані силами тяжіння подвійні, потрійні тощо).

За часом свого розвитку: давні та молоді.

За фізичними властивостями речовини в надрах зорі поділяють на три основні групи: *нормальні зорі*, *білі карлики* й *нейтронні зорі*.

З першого погляду зорі видаються білими. Однак, якщо придивитися, можна помітити цілий діапазон кольорів зір: блакитні, білі, червоні, жовті. У зимовому сузір'ї Оріона можна спостерігати за прекрасним контрастом між червоною Бетельгейзе та блакитною Беллатрікс (мал. 8.7).



Мал. 8.7. Сузір'я Оріона взимку

Причина того, що зорі світяться різними кольорами, була загадкою протягом усієї історії науки аж до того часу, коли два сторіччя тому фізики досягли достатнього рівня розуміння природи світла та властивостей речовини за високих температур.

Зокрема, було розвинене фізичне розуміння природи випромінювання «абсолютно чорного тіла», яке надало нам змогу зрозуміти причину різного кольору зір.

Абсолютно чорним тілом є тіло, яке поглинає будь-яке зовнішнє світло й натомість не випромінює ніякого світла. За звичайної температури такий об'єкт виглядатиме абсолютно чорним (звідси й термін *чорне тіло*). Але, якщо розігріти чорне тіло до високої температури, воно почне випромінювати в *тепловому діапазоні*. Спектр випромінювання абсолютно чорного тіла визначений тільки його температурою.

Власне, усі об'єкти випромінюють у тепловому діапазоні (доти, доки їх температура вища за абсолютний нуль, або –273,15 °С), але жоден з об'єктів не випромінює ідеально; кожний об'єкт краще випромінює або поглинає хвилі світла певної довжини.

На початку XX ст. вчені, зокрема Лорд Релей та Макс Планк, вивчали випромінювання чорного тіла. Для цього вони використовували досить простий пристрій (мал. 8.8).

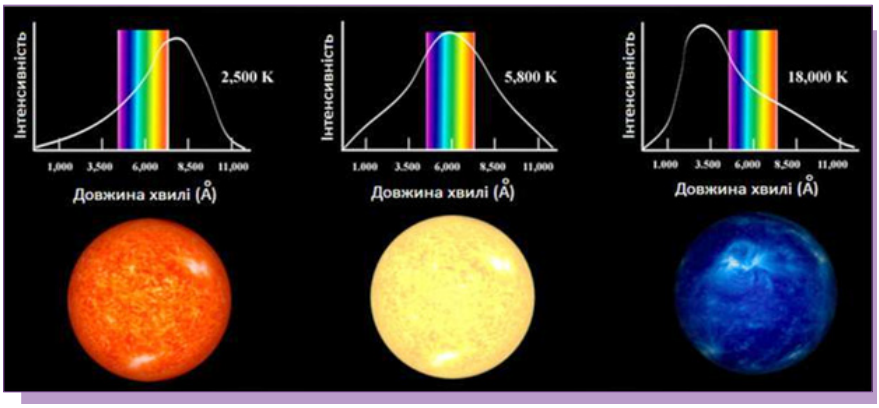
Мал. 8.8. Пристрій для вивчення випромінювання чорного тіла

Це скринька з матеріалу, який добре проводить тепло, такого як метал. Скринька повністю закрита з усіх боків, але з одним маленьким отвором, таким, щоб усередину не потрапляло жодне світло ззовні. Під час дослідження випромінювання, що виходило крізь отвір, було встановлено, що зі зростанням температури чорного тіла зростає інтенсивність світлового випромінювання, а довжина хвилі максимуму випромінювання зміщується в напрямку блакитного кольору спектра

Холодні зорі випромінюють більшу частину своєї енергії в червоному й інфрачервоному діапазонах електромагнітного спектра, а отже, виглядають червоними, а гарячі білі зорі випромінюють переважно на довжинах хвиль блакитного та ультрафіолетового випромінювання, що робить їх на вигляд блакитними або білими.

Отже, за кольором і температурою зорі поділяють на (мал. 8.9):

- блакитні (найбільш розжарені з температурою понад 30 000 °С);
- білі (з температурою 10 000 °С);
- жовті (з температурою 6 000 °С, Сонце — жовта зоря);
- червоні (найхолодніші, з температурою близько 3 000 °С)



Мал. 8.9. Інтенсивність випромінювання космічних тіл з різною температурою. Гарячі зорі випромінюють більше енергії в синій частині спектра, а холодні зорі — у червоній. Планети випромінюють енергію переважно в інфрачервоній частині спектра

За температурою зорі розділили на сім спектральних класів (табл. 8.1), які позначили літерами латинської абетки: O, B, A, F, G, K, M (англійське прислів'я: «Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me» — «будь гарною дівчиною, поцілуй мене»).

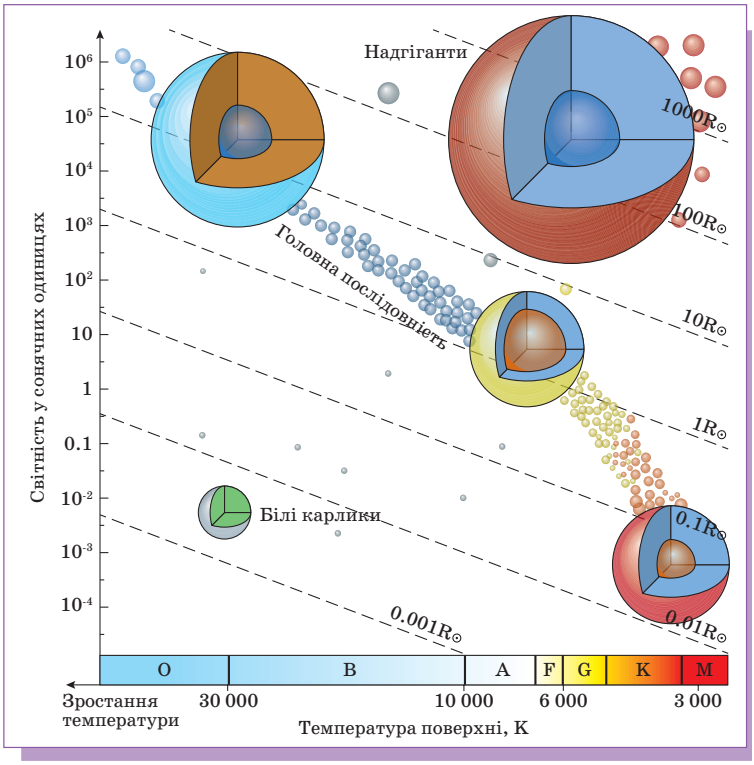
Таблиця 8.1.

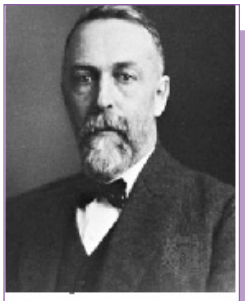
Спектральна класифікація зір (Гарвардська)

Клас	Температура, K	Дійсний колір	Видимий колір
O	30 000 – 60 000	блакитний	блакитний
B	10 000 – 30 000	біло-блакитний	біло-блакитний і білий
A	7500 – 10 000	білий	білий
F	6000 – 7500	жовто-білий	білий
G	5000 – 6000	жовтий	жовтий
K	3500 – 5000	помаранчевий	жовто-помаранчевий
M	2000 – 3500	червоний	помаранчево-червоний

Випромінювання зір є найважливішим джерелом інформації про них. За допомогою спектрального аналізу можна встановити якісний і кількісний хімічний склад світила, його температуру, чи є в нього магнітне поле, швидкість руху та багато іншого. Сонце та зорі оточені газовими атмосферами. Неперервний спектр їхньої видимої поверхні перетинається темними лініями поглинання, які виникають, коли проміння проходить крізь атмосферу зір та атмосферу Землі. Виявлено, що за хімічним складом зорі практично однакові: 73 % Гідроген, 25 % Гелій, 2 % — інші елементи.

На початку XX ст. астроном Ейнар Герцшпрунг (1873 – 1967, Данія) і дещо пізніше астрофізик Генрі Рассел (1877 – 1957, США) виявили залежність між виглядом спектра й світністю зір. Цю залежність вони ілюстрували графіком, на якому вздовж однієї осі відкладають світність зорі (абсолютну зоряну величину), а вздовж іншої — спектральний клас (температуру). Так виникла діаграма, яку називають *діаграмою спектр-світність* або (на честь обох учених) діаграмою Герцшпрунга — Рассела. Головна загадка діаграми полягає в тому, що в космосі астрономи ще не знайшли хоча б дві однакові зорі, які мають однакові фізичні параметри — масу, температуру, світність, радіус. Немає зір, які були б точнісінько такими, як Сонце. Напевно, протягом еволюції зорі змінюють свої фізичні параметри, тому малоймовірно, що ми зможемо відшукати в космосі ще одну зорю, яка зародилася одночасно з нашим Сонцем і мала з ним тотожні початкові параметри (мал. 8.10).




Е. Герцшпрунг

Г. Рассел

Мал. 8.10. Діаграма Герцшпрунга — Рассела

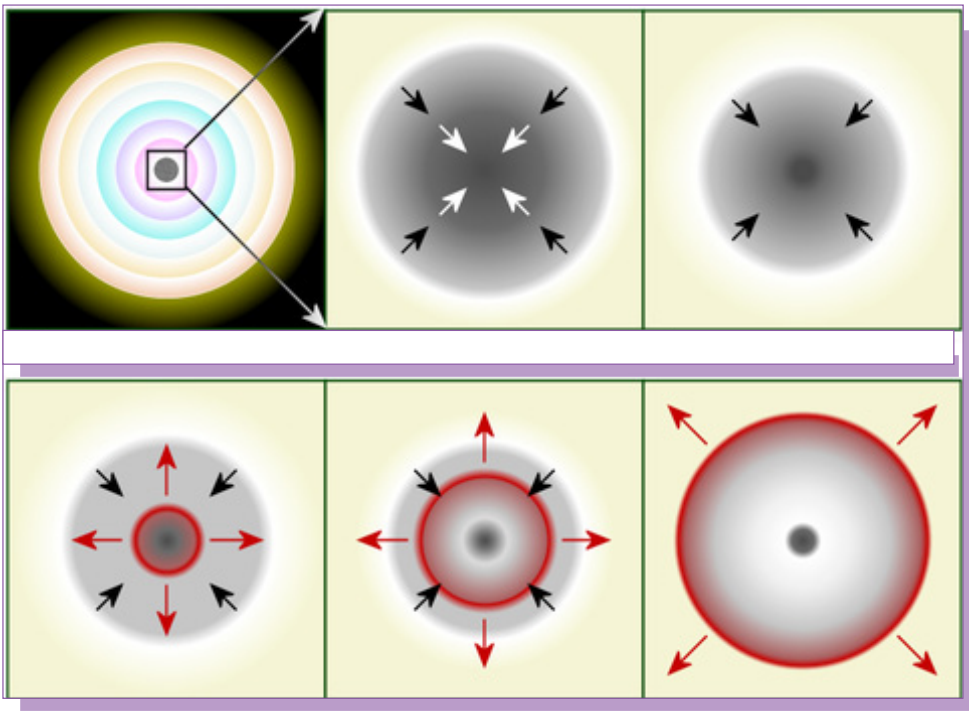
ЯК НАРОДЖУЮТЬСЯ ТА ЖИВУТЬ ЗОРІ?

Діаграма спектр — світність демонструє залежність зоряних параметрів (температура на поверхні й у ядрі, світність, тривалість життя) від початкової маси зорі та дає змогу прослідкувати весь її життєвий шлях від «народження» до «смерті».

Зоря починає своє існування, як холодна, розріджена ***туманність міжзоряного газу***. Потім ця туманність стискається внаслідок тяжіння й поступово набуває форму кулі (мал. 8.11). Коли температура в центрі досягає близько 10 000 000 K, починаються термоядерні реакції, і стиснення припиняється, бо внаслідок цих реакцій виникає тиск, який перешкоджає подальшому стисненню зорі. Протозоря стає повноцінною зорею. Якщо протозоря була в кілька разів більша, ніж маса Сонця, то під час гравітаційного стиснення утворюються гарячі зорі спектральних класів O та B. Протозорі з такою початковою масою, як маса Сонця, під час гравітаційного стиснення нагріваються до температури 6 000 K — зорі класів F і G. Протозорі з масою в кілька разів меншою, ніж сонячна, можуть перетворитися тільки на червоних карликів. Найменша маса, яка необхідна для початку термоядерних реакцій у надрах зорі, дорівнює майже 0,08 маси Сонця. Об'єкти меншої маси ніколи на зорі не перетворяться — вони будуть випромінювати енергію тільки в інфрачервоній частині спектра. Такі космічні тіла ми спостерігаємо навіть у Сонячній системі — це планети-

гіганти Юпітер, Сатурн, Нептун (їх ще називають коричневими карликами). (У загальному випадку формується не одна така протозоря, а кілька, і в майбутньому група стає зоряним скупченням. Також навколо протозорі утворюються менші згустки, які потім перетворюються на планети.)

Утворені зорі «посідають» свої місця на головній послідовності. Настає найстабільніша фаза їхнього життя, коли в ядрах зір відбувається синтез атомів Гелію з атомів Гідрогену. Ця фаза становить майже 90 % тривалості життя будь-якої зорі.



Мал. 8.11. Схематичне зображення зміни співвідношення сил гравітації (чорні стрілочки) та сил тиску газів (червоні стрілочки) упродовж життя зорі

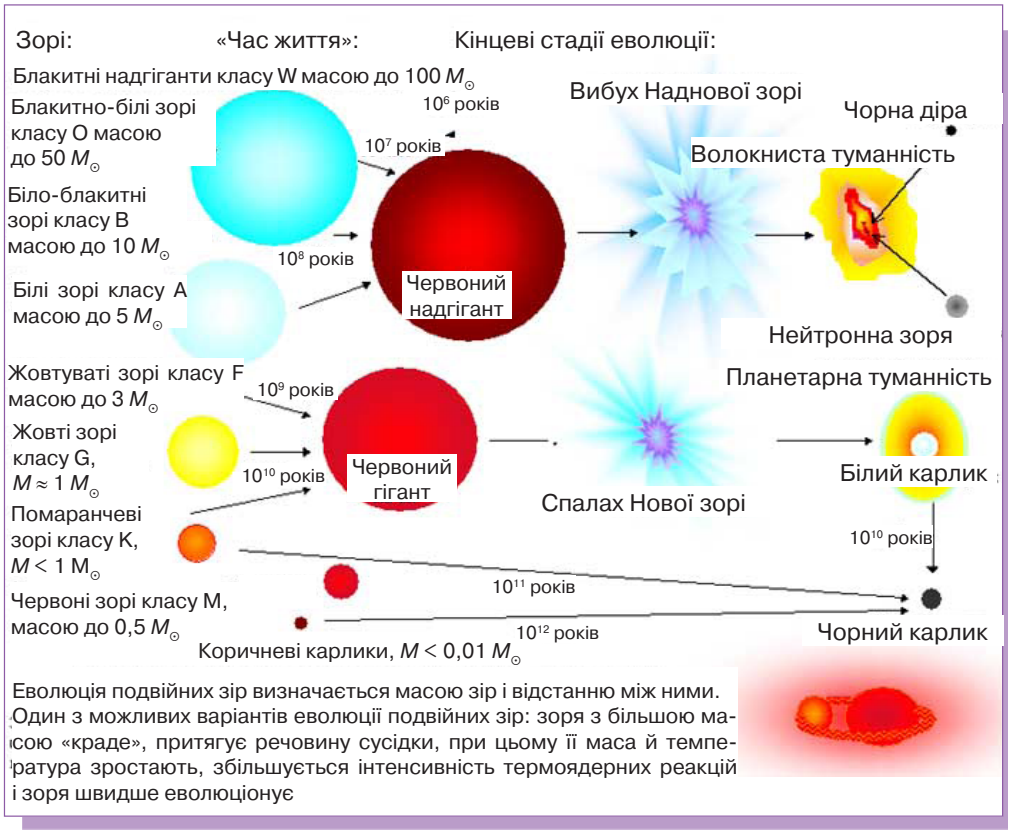
Зорі на головній послідовності перебувають у стані гравітаційної рівноваги, коли зовнішні шари за рахунок гравітації тиснуть до центра, у той час як тиск нагрітих газів діє в протилежному напрямку — від центра (мал. 8.11). Такий процес триває доти, доки половина Гідрогену в ядрі не перетвориться на Гелій, і тоді інтенсивність термоядерних реакцій може зменшитися, що відповідно вплине на параметри зорі та її «переміщення» на діаграмі.

Розрахунки показують, що якщо маса зорі менша від половини маси Сонця (червоний карлик), подальші ядерні реакції в ній не відбуваються, і вона поступово згасає. Маленькі червоні карлики можуть мерехтіти на небі понад 10^{11} років. Такі зорі, як Сонце, у стані рівноваги світять не менше ніж 10 млрд років.

Якщо маса зорі на головній послідовності більша за половину маси Сонця, але менша від маси двох Сонць, то після того, як водень у ядрі здебіль-

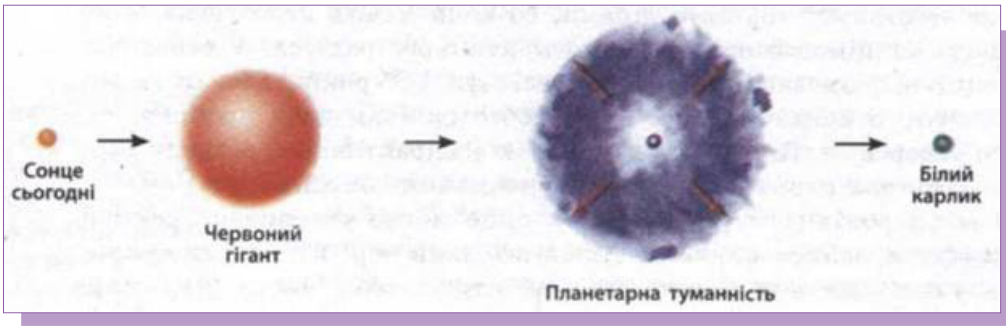
шого «вигорить», термоядерні реакції вже не виробляють достатню кількість енергії, зоря знову починає стискатися, поки ядро знову не розігріється до температури, за якої починається вже інша термоядерна реакція — Гелій перетворюється на Карбон з виділенням більшої кількості енергії. Світність зорі зростає в десятки разів, вона розширюється («розпухає») та пересувається на діаграмі Герцшпрунга — Рассела вправо, до області червоних гігантів. Коли ж закінчиться й Гелій, зорі просто «скидають» частину своєї маси (так формуються планетарні туманності). І тут усе залежить від маси зорі (мал. 8.12).

Протягом свого тривалого життя кожна зоря може як збільшувати, так і зменшувати всі свої основні параметри — температуру, світність та радіус.



Мал. 8.12. Кінцеві стадії зір

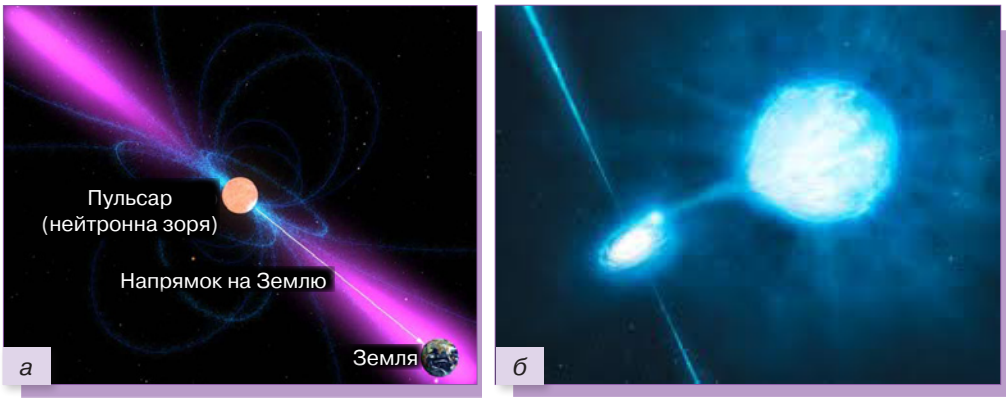
Якщо маса зорі незначна (не перевищує 1,4 маси Сонця), то її ядро не спроможне втримати роздуту оболонку, і та поступово віддаляється, утворюючи ***планетарну туманність***. Після остаточного розсіювання оболонки залишається лише гаряче ядро зорі — ***білий карлик***. Ядерних джерел енергії в зорі немає, і вона ще дуже довго світить під час повільного охолодження. Такий шлях розвитку буде в Сонця: через 6 – 7 млрд років, пройшовши стадію червоного гіганта, воно стане білим карликом (мал. 8.13).



Мал. 8.13. Еволюція Сонця

Еволюція масивних зір проходить бурхливіше. Наприкінці свого існування така зоря може вибухнути ***надновою***, а її ядро, різко стиснувшись, стане ***нейтронною*** зорею або ***чорною дірою***.

Отже, білий карлик і нейтронна зоря — це зорі, що народжуються після вибуху попередньої зорі, яка завершує свій еволюційний шлях.



Мал. 8.14. *а* — пульсар, *б* — «космічний канібалізм»

Нейтронні зорі можуть мати діаметр усього 20 км, що, відповідно, зумовлює величезну їхню густину, за якої вільні електрони ніби «удавлюються» у протони. Щоб ви збагнули: маса лише однієї ложечки такого матеріалу становитиме мільярд тонн. Гравітація на такому об'єкті у 2 мільярди разів сильніша за земну. У міру стискання такі зорі сильно розкручуються й починають випромінювати радіохвилі з певною досить стабільною частотою. Саме так і було виявлено реальне існування нейтронних зір у 1967 р., яке теоретично передбачив і розрахував ще 1932 р. Лев Ландау.

Випромінювання від нейтронної зорі поширюється в простір на величезні відстані у вигляді конусів. Конуси випромінювання, наче прожектори, обертаються разом із зорею і з таким самим періодом, що й вона. Якщо Земля потрапляє в такий конус, ми маємо змогу реєструвати пульсуючі сигнали від нейтронної зорі, тому її ще називають *пульсаром, або радіопульсаром* (мал. 8.14, *а*).

А ще нейтронна зоря може стати справжнім «космічнім канібалом». Так, у Всесвіті є ***подвійні зорі*** — зорі, що під дією взаємних сил тяжіння обертаються навколо спільного центра мас, утворивши єдину динамічну систему. Якщо одна із зір стане нейтронною зорею, а інша, наприклад, червоним гігантом, то потужне гравітаційне поле першої почне захоплювати речовину зорі-сусідки. «Космічний канібалізм» є досить поширеним явищем у Всесвіті, зорі захоплюють власні планети, білі карлики — зорю-сусідку, що перебуває на головній послідовності або є холодним гігантом (мал. 8.14, *б*).

Повернувшись до еволюційних процесів, ми докладніше розглянемо, що таке нові та наднові зорі, їхнє значення для еволюції Всесвіту в цілому.

Нові й ***наднові зорі*** є прикладом вибухових процесів у зорях, що завершують еволюційний шлях. Якщо блиск зорі зростає в тисячі й навіть мільйони разів (у середньому на 12 зоряних величин), їх називають *новими* зорями. Причина вибухів нових зір — «космічний канібалізм» між білим карликом і зорею, яка ще перебуває на головній послідовності або є холодним гігантом. У міру накопичення Гідрогену і збільшення температури й густини на поверхні білого карлика починаються термоядерні реакції, які відбуваються надзвичайно швидко, й енергія вивільняється вибухово. Скинута газова оболонка розширюється, унаслідок чого зростає блиск зорі, що й спостерігають як появу нової. Після спалаху перетікання газу на білий карлик починається знову, і через деякий час (до 1000 років) спалах повторюється.

Спалах *наднової* зорі має незрівнянно більші масштаби, ніж спалах Нової. Адже її блиск зростає на десятки зоряних величин упродовж кількох діб. У видимій частині нашої Галактики явище наднової трапляється раз на 200–300 років. Проте такі події можна спостерігати по кілька на рік, це спалахи в мільярдах інших галактик. Поява наднової в іншій галактиці демонструє всю грандіозність цього явища, адже

Засвітила темрява вогні,
Вкрилась ластовинням сонна нічка.
Місяць посміхається мені,
Розвела мости висока річка.
Там домівка кожної зорі,
Рідна стежка і своя родина.
І тому над нами угорі
Височіє лиш одна картина.
Там пливуть світи далеких зір,
Там великі групи звуть — сузір'я.
Хочеш вір, а хочеш перевір,
Там живуть легенди і повір'я.
Там до Андромеди мчить Пегас,
Знайдеш слід Персея і Цефея...
Палить люльку в небі Волопас,
І вітання шле Кассіопея.
Там побачиш Лебедя й Орла,
І Дракона, й Лева з Геркулесом...
Там усім Ведмедиця Мала
Маяком зоріє піднебесним.

Наталя Карпенко. *Сузір'я*

Стануть у пригоді кожному вночі
Зоряні Ведмеді — зоряні ковші.
У ковша малого зірочка ясна
На ім'я Північна, знана й провідна.
Дивиться на північ зоряний маяк.
Зірочка покаже подорожнім шлях.
Бік ліворуч — захід, а праворуч — схід,
Курс напроти — півдня променіє світ.

Наталя Карпенко. *Зоряні ведмеді*

Усміхаються зорі в далекій імлі —
І блакитні, і жовті, й червоні!
Не злічити тих зір! І великі, й малі!
І у кожної промінь в долоні!
Надгарячі — блакитним вогнем мерехтять,
Випромінюють срібло гарячі.
Теплі зорі ліхтариком жовтим горять,
А холодні — червоної вдачі.

Наталя Карпенко. *Усміхаються зорі*

часом її блиск у максимумі перевищує сумарну яскравість усієї зоряної системи, у якій вона спалахнула.

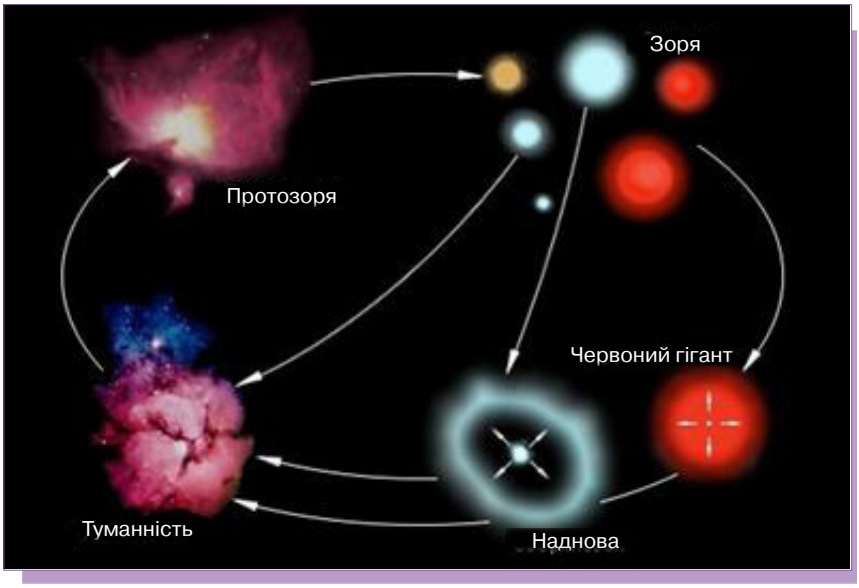
Перша наднова була відкрита у 185 р. китайськими астрономами. У 1054 р. — у сузір'ї Тельця (сьогодні на тому місці видно туманність Краб), 1572 р. — у Кассіопеї, її спостерігав Тихо Браге, тому її називають надновою Тихо Браге, у 1604 р. — у Змієносці її спостерігав Іоган Кеплер, відповідно її називають надновою Кеплера. Наймолодшим відкривачем наднової стала десятирічна мешканка Канади Кетрін Ґрей, яка відкрила наднову SN 2010lt 2 січня 2011 р.

Наднові також виникають у подвійних системах. Але на відміну від Нових, коли термоядерна реакція охоплює лише поверхневі шари зорі, у разі Наднових потужний термоядерний вибух охоплює зорю в цілому й може зруйнувати її дощенту. Трапляється, але набагато рідше, що в тісних подвійних системах утворюються Наднові не внаслідок термоядерного вибуху, а внаслідок гравітаційного колапсу одного з компонентів.

Оболонка, скинута під час вибуху наднової, стає матеріалом для утворення зір наступного покоління. Під час розвитку зорі внаслідок ядерних реакцій у її надрах можуть утворюватися всі хімічні елементи періодичної системи до Феруму включно. Важчі елементи синтезуються лише під час вибуху наднових. Тому є всі підстави вважати, що Сонце — зоря другого покоління, у якій є домішки речовини, що свого часу побувала в надрах зір першого покоління.

Окрім того, після вибуху зорі всі планети, які оберталися навколо неї, випаровуються та перетворюються на газопилову туманність, з якої також у майбутньому може утворитися нове покоління зір.

У Всесвіті відбувається своєрідний кругообіг речовини: зорі — вибух зір — туманність — і знову народження молодих зір (мал. 8.15).



Мал. 8.15. Колообіг речовини у Всесвіті

Чорні діри утворюються на останній стадії еволюції зір з масою, більшою ніж маса трьох Сонць. Така дивна назва пов'язана з тим, що їхня гравітація настільки велика, що навіть фотони не можуть її подолати, тому ніякими методами, окрім гравітаційних, зафіксувати такий об'єкт неможливо. Було відкрито кілька подвійних зоряних систем, у яких одна із зір невидима, але має існувати, тому що вона змушує своєю гравітаційною силою іншу, видиму зорю, обертатися навколо їхнього спільного центра маси, тож ці невидимі зорі є ймовірними кандидатами в чорні діри.

Незвичайні зорі. Більшість зір світять рівномірно. Однак якщо протягом кількох вечорів спостерігати за зорею β Персея, то помітно, що вона чомусь періодично «підморгує» — її блиск змінюється. Цю властивість зорі виявили ще середньовічні арабські астрономи. Тепер ці зорі називають ***змінними зорями*** та поділяють на дві групи: *затемнювано-змінні* та *фізичні змінні зорі*.

Причиною зміни світності затемнювано-змінних зір є те, що під час обертання близько одна до одної вони закривають одна одну. Тому їх ще називають затемнювано-подвійними, оскільки це явище притаманне подвійним системам.

Причиною зміни світності фізично змінних зір є процеси в їхніх надрах. Їх у свою чергу поділяють на дві групи: *пульсуючо-змінні зорі* та *спалахувальні змінні зорі*. ***Причиною зміни світності пульсуючо-змінних зір*** є їхнє стискання та розширення. Під час стискування зорі розміри її фотосфери зменшуються, а температура зростає. Відповідно підвищуються світність і блиск. Під час розширення, навпаки, температура та блиск спадають. Пульсувати можуть лише гіганти та надгіганти.

Чергування розширень і стисків деяких зір відбуваються хаотично. Але багато змінних зір пульсують строго періодично зі значною точністю. Такі пульсуючі змінні зорі, блиск яких плавно та періодично змінюється, називають ***цефеїдами***. Назва походить від зорі δ Цефея — добре вивченої представниці цього класу зір. З періодом 5 діб 8 год 47 хв її видима зоряна величина змінюється від 3,5 до 4,4. При цьому температура поверхні зорі коливається від 5500 K до 6700 K. Радіус зорі під час пульсування змінюється від $3{,}5 \cdot 10^7$ км до $3{,}9 \cdot 10^7$ км.

Полярна зоря — одна з найближчих цефеїд (з періодом 3 доби 16 год 5 хв її видима зоряна величина змінюється від 1,94 до 2,05).

Дивовижною властивістю цефеїд є те, що між світністю та періодом є зв'язок: що більший період зміни блиску цефеїди, то вища її світність. За відомим періодом можна визначити світність, а отже, й абсолютну зоряну величину. За видимою зоряною величиною обчислюють відстань до зорі. Така властивість цефеїд робить їх «маяками» у Всесвіті. Ці змінні зорі видно на значних відстанях, адже вони мають високу світність. Цефеїди спостерігають і в інших галактиках та визначають у такий спосіб відстань до цих галактик.

До ***спалахувальних змінних*** належать кілька типів зір, зокрема молоді світила, які зазнають нерівномірного гравітаційного стискання і, відповідно, нерівномірно випромінюють. Однак найцікавішими представниками спалахувальних змінних зір є нові та наднові.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Зв'язок яких параметрів зорі показує діаграма Герцшпрунга — Рассела?
2. Опишіть внутрішню будову зорі, маса якої становить 10 сонячних мас.
3. Фіолетова частина неперервного спектра однієї з двох зір яскравіша, ніж в іншої. У якої з них вища температура?
4. У верхньому правому куті діаграми Герцшпрунга — Рассела розташовано послідовність надгігантів пізніх спектральних класів, температури яких низькі. Чим зумовлена висока світність цих зір?
5. Про що свідчать пустотні ділянки на діаграмі Герцшпрунга — Рассела?
6. Якщо випромінювання нездатне відводити від джерел потік енергії, що виділяється під час ядерних реакцій, починається конвекція. А якщо й конвекція «забуксує», тоді що?
7. Як дізнаються про подвійність зорі, коли з двох зір можна побачити лише одну?
8. Аналіз зоряних спектрів показав, що речовина на Землі, на Сонці та зорях має єдину матеріальну природу, а її зміни відбуваються за тими самими законами, що й на Землі. Яке це має світоглядне значення?
9. Якби між світностями зір та їхніми температурами не було жодної залежності, то як були б розташовані зорі на діаграмі?
10. У 1784 р. Фрідріх Вільям Гершель (1738 – 1822, Німеччина, Велика Британія) уперше склав каталог 700 подвійних і кратних зір. Як з'ясували, кілька зір можуть разом обертатися навколо спільного центра тяжіння. Яке науково-теоретичне значення мав цей факт стосовно законів природи, відкритих у земних умовах?
11. За результатами аналізу випромінювання зорі можна визначити її температуру, хімічний склад, розміри тощо. А чи можна так само визначити масу поодинокої зорі?
12. Із середини XIX ст. вивчення змінних зір особливо посилили. Чому завдячує цей процес в історії астрономії?
13. За рахунок яких параметрів зростає блиск цефеїд і нових зір? Що тут є визначальним?
14. Чи загрожує нашому Сонцю спалах? Чому?
15. Під час космічних вибухів, наприклад наднових зір, у міжзоряний простір викидається значна кількість заряджених частинок (електронів, протонів тощо). Їх реєструють приладами на Землі. Чи можна з упевненістю приписати походження цих частинок вибуху якоїсь конкретної зорі?
16. Чи хочете побачити спалах наднової зорі. Проте цей феномен трапляється в Галактиці не частіше, ніж раз за століття. Як доцільніше вчинити в цьому разі?
17. У спектрах яких зір не спостерігають ні лінії поглинання, ні лінії випромінювання? Чому?
18. Від зір головної послідовності в напрямку червоних гігантів помітно перехідний місток, що їх пов'язує, тоді як послідовність білих карликів на діаграмі зовсім ізольована. У чому річ?
19. У зір якої послідовності в ході еволюції спостерігають найбільші втрати маси? Чим це зумовлено?
20. Проаналізуйте цитати з творів. До яких пунктів модуля 8 ви б віднесли інформацію, яка міститься в кожному з них?

1) «Отак, долаючи труднощі та лиха, мимохідь довідалися, що Земля — куляста, що зірки — це клепки, які тримають небесну твердь, а пульсар — це зірка, на яку напала гикавка...»;[1]

[1] *Станіслав Лем.* «Розповідь другого розмороженого».

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

2) «Біля Альфа Центавра була призначена перша зупинка. Земля і Наа закружляли навколо нового сонця. Звідси астрономи спостерігали через двісті років, як Сонце спалахнуло, скидаючи розжарену оболонку газів, і потім стало білим щільним карликом»; [1]

3) «До того ж необхідно з'ясувати й деякі деталі астрономічного характеру. Зокрема, чудової субтропічної ночі звірити карту зоряного неба з оригіналом — чи не спалахнула десь наднова зірка і чи не згасла стара? Та й це ще не все. Давно помітив: на будь-якій мапі малюють самі зірки, а планетами нехтують. Хто ж, як не капітан Небреха, може підказати мені місцезнаходження планетних систем? Адже його знанням позаздрили б навіть упорядники зоряних каталогів»;[2]

4) «За попередніми, вельми, зрозуміло, приблизними даними — з Персея, із сузір'я Північної півкулі зоряного неба. Не виключено, що від його найяскравішої зорі α Мірфака. За іншими даними — з району Полярної зірки — Малої Ведмедиці. Вона є потрійною зорею, найяскравіший її компонент — цефеїда. Є ще й третє припущення — далекі гості з туманності Андромеди»;[3]

5) «У цю хвилину Південний Хрест постав перед очима спостерігачів у перевернутому вигляді — зірка Альфа цього сузір'я опинилася внизу, тобто найближче до Південного полюса.

Це сузір'я перебуває не так близько до Південного полюса, як Полярна зірка — до Північного. Зірка Альфа Південного Хреста розташована на відстані близько двадцяти семи градусів від полюса, але Сайрес Сміт знав це і вирішив враховувати цю відстань при своєму обчисленні. Він також потурбувався, аби не пропустити спостереження за нею в той момент, коли вона проходить через меридіан острова, що мало полегшити спостереження. Сайрес Сміт спрямував один кінець свого дерев'яного циркуля на лінію обрію, а другий — на зірку Альфа: ніби наставив на них кутомір, і відстань між двома ніжками відповідала куту між Альфою та обрієм. Аби міцніше зафіксувати отриманий кут і не допустити зміни відстані між планками, Сайрес Сміт прикріпив їх голками акації до поперечини.

Тепер лишалося тільки обчислити отриманий кут, узявши до уваги, що спостереження відбувалося не на рівні моря, а для цього конче потрібно було ще виміряти висоту плоскогір'я. Величина кута мала дати висоту Альфи Південного Хреста, а отже, й висоту полюса над обрієм, тобто широту острова, оскільки географічна широта будь-якої точки земної кулі завжди дорівнює висоті полюса над обрієм у цій точці»;[4]

6) «Що відомо досі про чорні діри космосу? Один затятий математик у годину дозвілля придумав собі таку задачу: а що, коли дуже велика маса речовини опиниться в дуже маленькому об'ємі, то що тоді буде? Як ця речовина поводитиметься? Розрахунки показали: сила тяжіння так стисне ту масу, що простір увігнеться, викривиться і зрештою замкнеться. Математик назвав це колапсом — така зірка тонула в його формулах, як сонце в морі. З тією тільки різницею, що сонце світить, а колапсуючу зірку вже ніхто не побачить, бо її страхітливе тяжіння не випускає жодного електромагнітного сигналу. Замість сяючої зірки — чорнота, дірка, в яку падає все, а звідти ніщо не вертається.

---

1 *Олесь Бердник.* «Стріла часу».
2 *Юрій Ячейкін*. «Космічна халепа капітана Небрехи».
3 *Валентин Чемерис*. «Мурашва на ранчо».
4 *Жуль Верн.* «Таємничий острів».

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

І хоч астрономи вважали, що в нашому Всесвіті є чимало сонць, в яких сконцентрована величезна маса і які в майбутньому будуть колапсувати, — все це, на думку Нескуби, не виходило за рамки химерних гіпотез. І хоча були повідомлення, що деякі чорні дірки виявлено, Нескубі не вірилось, він гадав, що це гра математичної уяви. Розум, зрештою, не може погодитись з тим, що в одній точці, майже в нульовому просторі концентрується яка завгодно велика маса речовини. Хоча… її всемогутність Природа може творити ще й дивовижніші парадокси!..» ; [1]

7) «Уже із сходу перейшли на захід Стожари, високо піднялися Косарі, до самої землі спустив чумацьку вію Великий Віз… З-за хат високо піднявся Візничий, помандрували тісною купкою на захід Стожари, і Віз опустив золоту вію над самою землею»;[2]

8) «Йшов на козацькі лампади — Стожари, пильнуючи, аби вони весь час світили з правої руки» ;[3]

9) «Високо в небі зацвіли не бачені ніколи зірки й сузір'я. Бо тих зірок, що яскравіють тут, у Південній півкулі Землі, де стоїть наш «Вихор», не видно у наших степових широтах. Замість Великої Ведмедиці, Полярної зірки, Стожарів, тут небозвід всіяли інші світила: огнистий Південний Хрест — розташовані невеличким ромбом чотири зірки: Вега, Капелла, Альціона…»;[4]

10) «Соляріс було відкрито майже за сто років до мого народження. Планета обертається довкола двох сонць — червоного й голубого. Соляріс, за попередніми обчисленнями, повинен протягом п'ятисот тисяч років наблизитися на відстань, яка дорівнює половині парсека, до свого червоного сонця, а ще через мільйон років — упасти в його розпечену безодню»;[5]

11) «Знаходимось ми на далекій околиці — до центра Галактики від нас 25–30 тисяч світлових років. Конкретно — на третій планеті згадуваної Сонячної системи під назвою Земля». [6]

---

1 *Василь Бережний.* «Космічний гольфстрім».
2 *Михайло Стельмах.* «Велика рідня».
3 *Юрій Мушкетик.* «Яса».
4 *Леонід Тендюк.* «Дивовижна риба мурена».
5 *Станіслав Лем.* «Соляріс».
6 *Валентин Чемерис.* «Агов, на Полярній зірці».

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

1. Спостереження сузір'їв та пошук планет і зір (за допомогою *Google Sky Map* та/або аналогічних програм).
2. Визначення географічної широти місцевості зі спостережень за Полярною зорею.

ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Моделі світобудови в уявленнях людей.
- Моделювання чорної діри та подвійних зір за допомогою тканини й металевих куль.
- Астрологія: передбачення долі за зорями. Вірити чи не вірити? Геліобіологія.
- Космічна погода.

Б. 9. СТРУКТУРА ВСЕСВІТУ

Погляньте на небо, ви вже легко віднайдете яскраві зорі, назвете сузір'я. Зможете навіть розрізнити їх за кольором і тим самим порівняти температури зір. Можливо, вам вдасться відкрити спалах Наднової. А чи замислювалися ви над тим, чи є щось у просторі між зорями? Чи все, що є в просторі, є видимим? Як групуються зорі в галактики, і як розлітаються галактики? І що врешті-решт чекає на наш Всесвіт?

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Називати склад міжзоряного середовища, складники Галактики, найближчі до Землі галактики.

Знати й *розуміти* поняття туманність, зоряне скупчення, галактика; суть закону Габбла, антропного принципу у Всесвіті.

Характеризувати міжзоряне середовище з погляду зоряної еволюції, природу галактик і квазарів; загальноприйняті моделі (сценарії) походження й розвитку Всесвіту.

Пояснювати ознаки та властивості міжзоряного середовища; значення закону Габбла в астрономії; суть проблеми вивчення темної матерії та темної енергії.

Уміти класифікувати туманності й галактики, розрізняти на зоряному небі Молочний Шлях.

Обґрунтовувати можливість існування позаземного життя у Всесвіті.

Оцінювати місце Сонячної системи в Галактиці, світоглядне значення сучасних уявлень по будову Всесвіту та його еволюцію; унікальність Землі та Всесвіту

НЕ ЛИШЕ ЗОРІ

Під час спостережень зоряного неба нам здається, що між зорями немає нічого. Те, що ці відчуття оманливі, астрономи зрозуміли давно. По-перше, якщо в нашій Сонячній системі є *планети*, *астероїди*, *комети*, то такі об'єкти мають бути й навколо інших зір. По-друге, те, що простір між зорями насправді не порожній і не зовсім прозорий, доводило те, що відбувається поглинання (ослаблення) світла зір на шляху до земного спостерігача.

У першій половині XX ст. було з'ясовано, що космічний простір заповнює міжзоряна речовина у вигляді надзвичайно розрідженого *газу* й *пилу*. Потужні хмари міжзоряної пилової матерії не дають нам змоги побачити простим оком ядро нашої Галактики — найяскравішу частину, яка містить майже 100 мільярдів зір, і яке було б ще одним яскравим «світилом» земного неба.

Науковці вважають, що пил утворюється у верхніх холодних шарах червоних гігантів, які під час вибуху відкидають свої верхні шари в міжзоряний простір, унаслідок цього утворюються пилові ***туманності***. Основними складниками міжзоряного пилу є графіт і різні види силікатів. Міжзоряний газ на понад 67 % складається з атомів і йонів Гідрогену, молекул водню, на 28 % — з атомів Гелію й менш ніж 5 % — з інших елементів, поміж яких — Оксиген, Карбон і Нітроген. У міжзоряному просторі ще є вода, оксиди Карбону, Нітрогену, Сульфуру та Силіцію, гідроген хлорид, амоніак, ацетилен, етанол, бензен, нафтален ($C_{10}H_8$), а також найпростіші органічні сполуки — метанова та етанова кислоти. Виявлено 2-аміноетанову кислоту (гліцин) — одну з амінокислот, з яких складаються білки, а також толіни (від давн.-гр. θολος — мутний, неясний) — великі молекули органічних речовин складної будови, які утворюються з молекул органічних речовин простої будови внаслідок дії ультрафіолетового світла. Толіни вважають хімічними попередниками життя. Загалом кількість різновидів толінів, відкритих останнім часом, добігає 130.

Установіть відповідність між назвами сполук, що наведені в цьому абзаці, та хімічними формулами, наведеними далі: H_2O, C_6H_6, CO, C_2H_5OH, SiO_2, CO_2, HCl, NH_3, SO_2, NO, NO_2, $HCOOH$, C_2H_2, H_2NCH_2COOH, CH_3COOH, $C_{10}H_8$. Які з цих речовин реагують між собою? Складіть рівняння цих реакцій, запишіть назви їхніх продуктів.

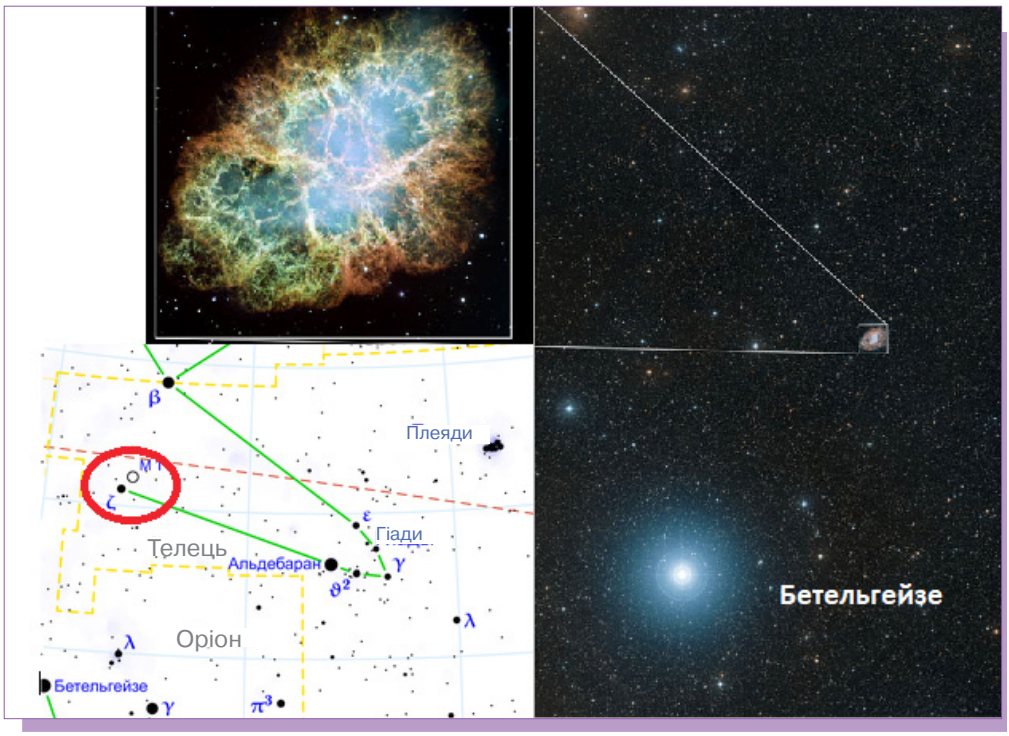
До початку XX ст. астрономи називали туманністю будь-який об'єкт незоряної природи, що мав вигляд розмитої світлої плями. Згодом, завдяки використанню потужніших телескопів, було з'ясовано, що багато з таких туманностей насправді є зоряними системами або галактиками. Наприклад, галактику Туманність Андромеди, спочатку вважали туманністю, тому залишили для неї таку назву.

Туманності поділяють, відповідно до їхнього зовнішнього вигляду, на *планетарні* (так їх назвав Фрідріх Вільям Гершель, бо їхній вигляд нагадував йому планетні диски Урана й Нептуна) і *дифузні* (розмиті), а відповідно до фізичної природи — на *газові*, *пилові* та *газопилові*. Усі планетарні туманності й частина дифузних є газовими. Пилові туманності

бувають і *світлими*, і *темними*. Водночас світлі туманності поділяють на *відбивальні* й *самосвітні*.

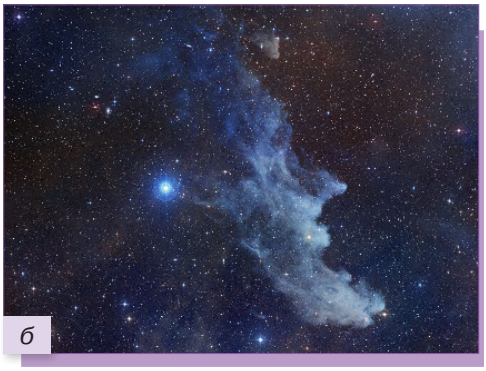
Дифузні (відбивальні й самосвітні) туманності пов'язанні з народженням зір — у них формуються зорі, а планетарні — із загибеллю зір — це залишки після їхніх вибухів.

Одним з найзнаменитіших об'єктів зоряного неба є Крабоподібна туманність у сузір'ї Тельця (мал. 9.1).



Мал. 9.1. Крабоподібна туманність

Коли астроном Шарль Мессьє (1730 – 1817, Франція) у 1758 р. шукав у цьому районі неба одну з комет, він мало не сплутав з нею не відому до того часу *Крабоподібну туманність*. Саме це прикре непорозуміння й спонукало його скласти свій знаменитий каталог туманностей, у якому Крабоподібній туманності присвоєно перший номер (**M1**). На фотографіях вона насправді нагадує краба — волокна туманності схожі на клешні. Крабоподібна туманність утворилася в результаті вибуху наднової в 1054 р. За цією подією уважно стежили китайські астрономи, що відображено в літописах. Тепер у місці цього жахливого вибуху видно слабку зорю 16-ї зоряної величини (пульсар). Від неї зі швидкістю близько 1000 кілометрів за секунду розлітаються гази, що утворюють туманність. Розширення Крабоподібної туманності настільки стрімке, що його можна помітити навіть на фотографіях, знятих з інтервалом у 20–30 років. Більше інформації про туманності ви знайдете на малюнку 9.2.



Мал. 9.2. *а* — туманність Кінська Голова розташована на відстані близько 1500 світлових років у сузір'ї Оріона. Видно Кінську Голову тому, що позаду неї є яскрава туманність IC 434, яка випромінює червоне світло; *б* — ще одна туманність Голова відьми (офіційна назва туманності IC 2118) теж розташована в сузір'ї Оріона. Вона світить в основному за рахунок відбивання випромінювання зорі Ригель

Окрім газу й пилу в міжзоряному середовищі є ще космічні промені (потоки протонів і α-частинок, нейтрино), гравітаційні й електромагнітні поля та хвилі. Понад 90 % міжзоряної речовини припадає на міжзоряний газ (у молекулярній, атомній або йонізованій формі). Близько 1 % — частка міжзоряного пилу.

Якби міжзоряне середовище рівномірно розпорошити по всьому об'єму Всесвіту, то на простір площею 1 м^3 припадав би 1 атом речовини. Порівняйте ці показники із земними умовами: атмосферне повітря об'ємом 1 см^3 на рівні океану містить $2{,}6 \cdot 10^{19}$, а вода такого самого об'єму — $3 \cdot 10^{22}$ молекул. Наведені дані дають змогу відчути всю глибину космічної порожнечі. У той самий час міжзоряне середовище впливає на розвиток об'єктів Усесвіту: від густини й об'єму міжзоряного газу й пилу залежить можливість зародження зір, а зорі так само змінюють властивості навколишнього міжзоряного середовища — нагрівають його, підтримують невпинний рух газу, поповнюють середовище своєю речовиною, змінюють його хімічний склад.

Кожна зірка — сонце для земель незнаних,
А на землях — ріки, люди і сади.
Скільки там хороших, скільки там коханих,
Світ зірок доносить їх любов сюди.
Іван Коваленко. Зорі і Стендаль

ЯК ЖИВУТЬ ЗОРЯНІ РОДИНИ

Всесвіт складається як із дрібних порошин й атомів, так і з величезних скупчень речовини (газу й пилу), зоряних світів і систем (зорі, їхні скупчення й галактики).

Найбільше привертає увагу на зоряному небі біла смуга. Українці здавна називали її по-різному: Становище, Стан, Чумацький Шлях, Молочний Шлях і Галактика[1] (мал. 9.3).

[1] З великої літери, щоб уникнути плутанини з іншими галактиками.

Мал. 9.3. Чумацький Шлях — срібна ювілейна монета номіналом 20 гривень, випущена Національним банком України. Присвячена чумацтву — торгово-візницькому промислу, поширеному в Україні із XVII до середини XIX ст. На аверсі монети в центрі зображено колесо (голограма), навколо якого вогненна спіраль, що символізує галактику. На реверсі монети на тлі нічного пейзажу зображено жанрову сцену: чумацькі вози, чумака з люлькою та внизу півколом розміщено напис «ЧУМАЦЬКИЙ ШЛЯХ»

Темніє вечір, вівці і горби,
Погуцали під гору дві смереки,
Боками світять хмари і гриби,
І світить Шлях, що із Варяг у Греки.
Микола Вінграновський. Темніє вечір

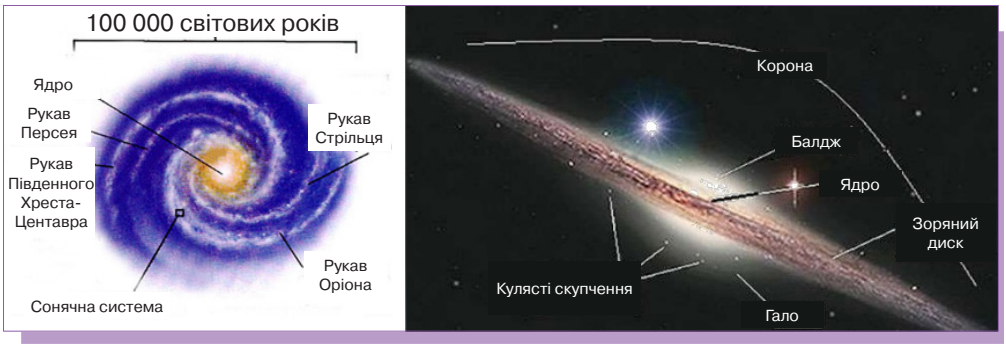
Упаду я зорею,
Мій вічний народе,
На трагічний і довгий
Чумацький твій шлях.
Василь Симоненко. Стільки в тебе очей

А скіфський кінь із мазаної хати
Чумацьким Шляхом зорі прогортає...
Ну, що ти скажеш, бісе плутуватий,
Про хуторянську долю мого краю?!
Іван Драч. Ніж у сонці

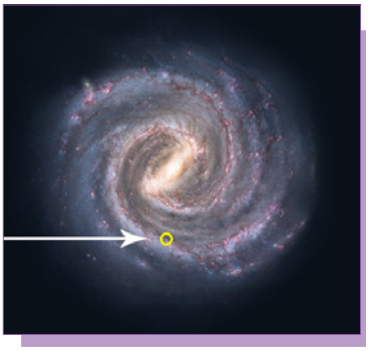
Чумацький шлях долали і долаєм,
бо нам пройти судилося цей шлях.
Євген Гуцало.
Усе це ми... Такі ми є, як хочем

Ще в 1609 р. Галілео Галілей за допомогою телескопа виявив, що Молочний Шлях складається з колосальної кількості зір. Вивчати будову Галактики не просто, адже ми перебуваємо всередині цієї зоряної системи. Важко скласти план міста чи селища, якщо ви стоїте на одному місці й маєте змогу лише роздивлятись навсібіч. Так само спостереження нашої зоряної системи ускладнені, багато її деталей приховані від нас, бо Сонячна система лежить у її площині — ми не можемо охопити поглядом, оцінити будову Галактики. Однак попри такі ускладнення астрономи (від перших робіт Фрідріха Вільяма Гершеля у XVIII ст.) знайшли методи, використання яких допомогло розкрити багато таємниць Галактики.

Якби ми могли подивитися на Галактику ззовні, наприклад «згори», то побачили б, що вона нагадує плоский диск, у якому можна чітко простежити спіральні рукави (мал. 9.4).



Мал. 9.4. Погляд на Галактику згори



Мал. 9.5. Ніч яка місячна, зоряна, ясная... (*українська пісня*). Усі зорі, які ви бачите вночі на небі, — частина цього жовтого кільця

Мал. 9.6. У 2018 р. до 150-ї річниці створення Королівської астрономічної спілки Канади монетний двір цієї країни випустив нову колекційну монету, у складі якої є фрагменти справжнього метеорита. Поруч із метеоритом, розташованим біля зображення найближчої до нас галактики (Галактики Андромеди), можна побачити Туманність Орла, яка кружляє поміж Стовпів Творіння[1] та довгі вервечки газу й пилу

За сучасними уявленнями, наша Галактика має дві складові — плоску та сферичну. *Сферична підсистема — гало,* або *корона,* — складається з газу та дуже старих неяскравих зір. Радіус гало, згідно з даними космічного телескопа ім. Габбла, дорівнює 300 000 св. р. Об'єкти гало концентруються до центра Галактики, утворюючи балдж (з англ. bulge — *опуклість*). *Плоска підсистема — диск* — складається переважно з газу, молодих зір та їхніх скупчень. Вік більшості об'єктів диска — до 1 млрд років. Діаметр диска 100 000 св. р., а товщина центральної зони 10 000 св. р. У центрі Галактики розташоване *ядро* діаметром 4000 св. р., концентрація зір у ядрі дуже висока, ймовірно, у його центрі є дуже масивна чорна діра. Кількість зір у диску сягає 400 млрд, а його маса — 150 млрд мас Сонця.

На краю спірального рукава (Оріона) розташована наша Сонячна система. Те, що в Галактиці є спіральні гілки, пояснюють гігантськими хвилями стиснення й розрідження міжзоряного газу, які пробігають галактичним диском. Важливим є те, що орбітальна швидкість Сонця в Галактиці майже збігається зі швидкістю руху хвиль стиснення. Саме тому наша планетна система залишається попереду фронту хвилі вже кілька мільярдів років. Ця обставина, ймовірно, мала велике значення для виникнення й збереження життя на Землі. Відстань до центра Галактики становить близько 9000 пк (25 000 св. р.). На такій відстані Сонце здійснює один оберт навколо нього за майже 230 млн р., які становлять галактичний рік (швидкість руху Сонця — 220 км/с). Земля вже облетіла навколо центра Галактики приблизно 25 разів. Щоправда, астрономи не можуть дійти згоди, у якому напрямку обертається наша спіральна Галактика: закручується чи розкручується.

[1] За даними інфрачервоного телескопа Spitzer, Стовпи Творіння було знищено вибухом наднової приблизно 6 тисяч років тому. Оскільки туманність розташована на відстані 7 тисяч світлових років від Землі, спостерігати Стовпи можна буде ще близько тисячі років.

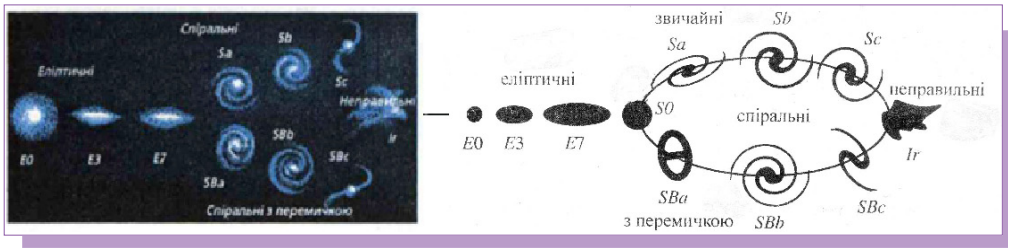
Наша Галактика не одинока. У неї є кілька десятків найближчих сусідів — невеликих (за розміром, масою, кількістю зір) галактик-супутників, що перебувають у полі тяжіння нашої зоряної системи. Неозброєним оком можна побачити лише три галактики: Туманність Андромеди — доступна для спостережень в Україні. Ця зоряна система віддалена від нас на 2,5 млн св. р. (мал. 9.6). Дві інші галактики — Велика та Мала Магелланові Хмари видно на зоряному небі Південної півкулі Землі.

Нашій Галактиці теж притаманний «космічний канібалізм». Тобто повільно відбувається процес поглинання Галактикою карликових зоряних сусідів. Через кілька мільярдів років наша галактика поглине й обидві Магелланові Хмари. Ця подія приведе до того, що Галактика додатково отримає велику кількість міжзоряної речовини (її стане приблизно вдвічі більше, ніж є нині), що сприятиме утворенню молодих яскравих зір.

За межами нашої Галактики є й інші галактики, які різняться головними характеристиками: формою, масами, розмірами, світністю. Галактики розділено в просторі величезними відстанями. Від багатьох з них світло летить до нас сотні мільйонів і мільярди років (мал. 9.7).

Мал. 9.7. Галактики, що вдалося зафіксувати за допомогою телескопа Габбл

Світ галактик дуже розмаїтий. Згідно з класифікацією, запропонованою Едвіном Габблом, галактики поділяються на три типи: еліптичні (E); спіральні (S); неправильні (Ir). Більше інформації про них ви дістанете з малюнка 9.8.



Мал. 9.8. Розмаїття галактик

Окрім зазначених типів є активні галактики з особливостями: квазари, радіогалактики й галактики Сейферта (Карл Кінан Сейферт, 1911–1960, США), які, можливо, є об'єктами одного роду, що перебувають на різних етапах своєї еволюції. Схоже на те, що за віком квазари молодші, а галактики Сейферта — старіші. У звичайних галактик, таких як наша, велику яскравість ядра пояснюють високою концентрацією зір. В активних галактиках з ядра виривається світний газ, що рухається з величезною швидкістю — тисячі кілометрів за секунду. За деякими даними, так можуть виявити себе чорні діри, оточені щільною хмарою звичайних зір і газу.

Космічна обсерваторія «Чандра», яка знімає космічний простір у рентгенівському діапазоні, 2015 р. зробила захопливий знімок групи галактик, яку назвали Чеширським Котом.

Кожне «око» Чеширського Кота є найяскравішою галактикою в кластерах, які обертаються одна навколо одної зі швидкістю 480 тисяч кілометрів за годину. Дані обсерваторії показали наявність гарячого газу, який свідчить про зіткнення скупчень галактик у минулому. Окрім того, вчені виявили, що ліве «око» Чеширського Кота приховує надмасивну чорну діру.

Але для будь-яких галактик спільним є те, що це гравітаційно пов'язані системи із зір, зоряних скупчень, міжзоряного газу й пилу, планет та інших космічних об'єктів, що обертаються навколо спільного центра.

Просто пов'язані взаємним тяжінням групи зір спільного походження називають *зоряними скупченнями*. У сузір'ї Тельця спостерігають Стожари (Плеяди), де неозброєним оком можна побачити групу із 7–8 зір, а на світлинах з тривалою експозицією — розгледіти близько 300 слабких зір. Поруч з Альдебараном розташоване об'єднання зір — Гіади (грец. Υάδες — «дощові»). Ці та подібні до них тісні зоряні групи неправильної форми називають *розсіяними зоряними скупченнями*. У кожному з них сотні або й тисячі зір, які мають спільне походження, об'єднанні силою всесвітнього тяжіння й разом рухаються в просторі. Діаметри розсіяних зоряних скупчень становлять 10–20 св. р. Більшість розсіяних скупчень складається тільки із зір головної послідовності, а це означає, що вік цих утворень

не перевищує 10–100 млн р., тобто вони доволі «молоді». Зараз відомо близько 1200 розсіяних зоряних скупчень, майже всі вони розташовані в Чумацькому Шляху чи поблизу нього.

Окрім розсіяних також спостерігають зоряні скупчення сферичної або еліпсоїдної форми, які називають *кулястими*. Вони мають величезні розміри (до 300 св. р.) і складаються із сотень тисяч зір. Значна кількість червоних гігантів у кулястих зоряних скупченнях свідчить про поважний вік цих утворень. Найстарші з них існують 13 – 15 млрд р. На відміну від розсіяних, кулясті зоряні скупчення сконцентровані біля центра Галактики. Зараз відомо близько 150 кулястих зоряних скупчень, і всі вони надзвичайно віддалені.

КОСМІЧНИЙ МАРАФОН

У 1929 р. Едвін Габбл досліджував спектри галактик і звернув увагу на те, що лінії поглинання в усіх спектрах зміщені в червоний бік. Згідно з ефектом Допплера це свідчить про те, що всі галактики від нас віддаляються. Крім того, за допомогою величини зміщення спектральних ліній можна визначити швидкість, з якою галактики віддаляються. Виявилося, що швидкість, з якою «тікають» від нас інші галактики, збільшується прямо пропорційно відстані до цих галактик (закон Габбла):

$$v = Hr,$$

де v — швидкість галактики, H — стала Габбла, r — відстань до галактики в мегапарсеках.

Із закону Габбла випливають два важливі висновки. Перший: Всесвіт розширюється, наслідком чого і є розліт галактик, і що далі галактика від Землі, то з більшою швидкістю вона рухається від нас. Другий висновок: Всесвіт колись мав початок, за якого почалося розширення.

ТАЄМНИЧА ТЕМНА МАТЕРІЯ

Галактики, як і зорі, утворюють скупчення. Наша Галактика й галактика М31 входять до Місцевої групи галактик. Найбільші скупчення галактик спостерігають у сузір'ях Діви та Волосся Вероніки. У цьому напрямку астрономи відкрили своєрідну Велику стіну, де на відстані 500 млн св. р. виявлено значне збільшення кількості галактик порівняно з іншими напрямками.

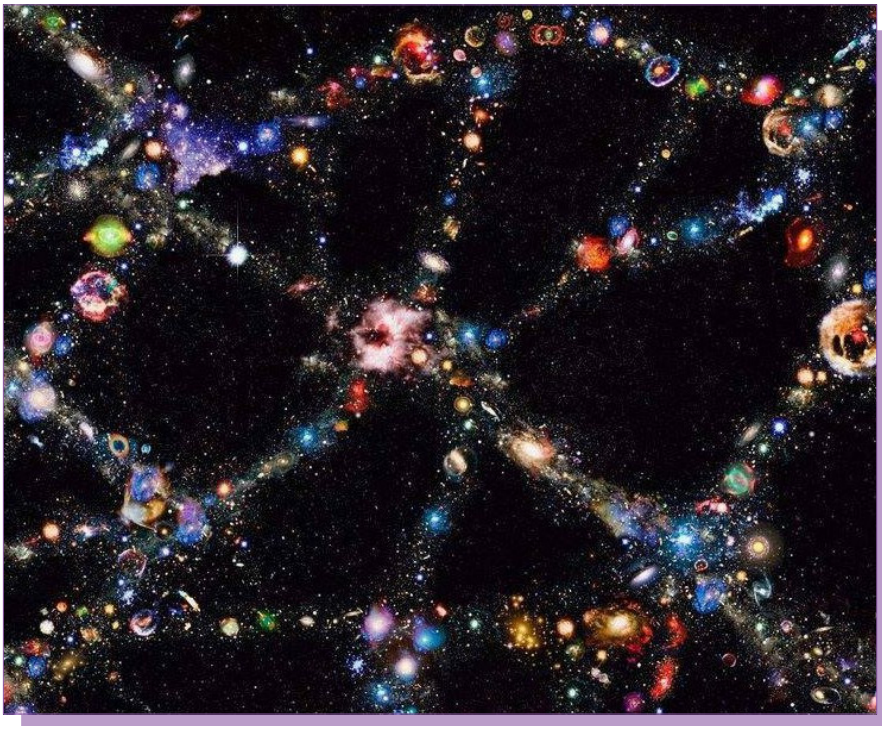
Під час спостереження гравітаційної взаємодії планет і зір астрономи звернули увагу на своєрідну ієрархічну структуру руху космічних тіл:

1) планети та їхні супутники обертаються навколо своєї зорі. Є зоряні скупчення, які налічують тисячі й навіть мільйони об'єктів;

2) галактики об'єднують у спільне гравітаційне поле сотні мільярдів зір, які обертаються навколо одного ядра. Є скупчення галактик, які налічують мільйони об'єктів.

Ще однією характерною рисою розподілу галактик у просторі є те, що вони розташовані у Всесвіті у великому масштабі (великомасштабна модель Всесвіту) не хаотично, а утворюють дуже дивні структури. Скупчення й надскупчення галактик зібрані у волокнисті структури — «нитки»

завдовжки в десятки мегапарсеків. Ці «нитки» утворюють своєрідні «стіни», які охоплюють порожнини (їх називають *войдами*). І найцікавіше в цій порожнечі те, що там «захована» темна матерія. Захована, тому що вчені до цього часу не змогли її виявити. Вона не випромінює світла, але виявляє себе силою тяжіння. Згідно з нинішніми уявленнями темна матерія відіграла особливу роль у формуванні великомасштабної структури Всесвіту. Імовірно, що спочатку виникли згустки темної матерії, а потім звичайна матерія скупчилася навколо них. Галактики — це скупчення звичайної матерії, розташовані в вузлових точках всесвітньої сітки з темної матерії (мал. 9.9).



Мал. 9.9. Де «захована» темна матерія?

На додачу до темної матерії є ще й темна енергія. З'ясовано, що розширення Всесвіту відбувається з пришвидшенням. Звичайна гравітаційна взаємодія не може бути причиною цього пришвидшеного руху галактик. Отже, у Всесвіті є субстанція, спроможна діяти, як антигравітація. І саме вона пришвидшує всі далекі об'єкти. Цю субстанцію назвали *темною енергією*. Науковці вважають, що одним з пояснень природи темної енергії може бути фізичний вакуум — повністю звільнений від будь-якої речовини простір, заповнений полем. Цьому вакууму властивий від'ємний тиск, тобто *антигравітація*. Але дотепер проблему пояснення природи й властивостей темної матерії й темної енергії не розв'язано.

Про Всесвіт у цілому ми, власне, нічого не знаємо. Вивчення Всесвіту, навіть тільки відомої нам його частини, є грандіозним завданням.

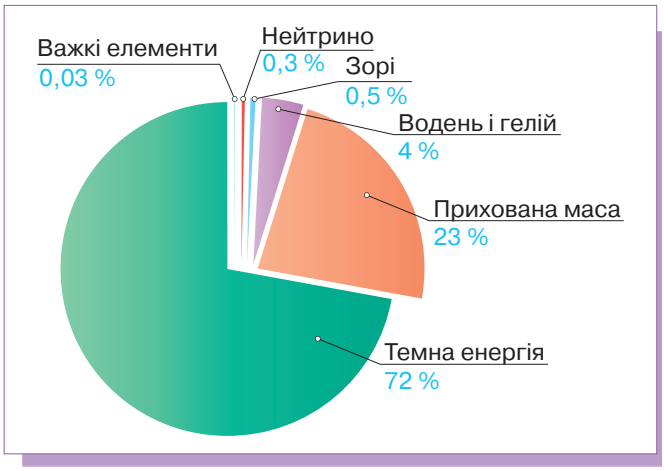
ЯКИМ БУДЕ НАШ ВСЕСВІТ У МАЙБУТНЬОМУ?

Фізичні теорії (загальна теорія відносності, квантова механіка тощо) разом з великим масивом спостережних астрономічних даних, математичним апаратом та можливостями комп'ютерної техніки дали змогу за неповні 100 років з'ясувати загальну картину народження й розвитку нашого Всесвіту. Ця картина не лише пояснює нинішню його будову, а й передбачає майбутнє Всесвіту. Щоправда, багато важливих моментів його еволюції ще й досі до кінця не з'ясовані.

Народження Всесвіту у вигляді стандартної космологічної моделі Великого Вибуху пояснює:

- наявність і структуру космічного мікрохвильового фону;
- великомасштабну структуру скупчень галактик;
- розподіл Гідрогену, Гелію, Літію, Оксигену в нашому Всесвіті;
- пришвидшене розширення Всесвіту.

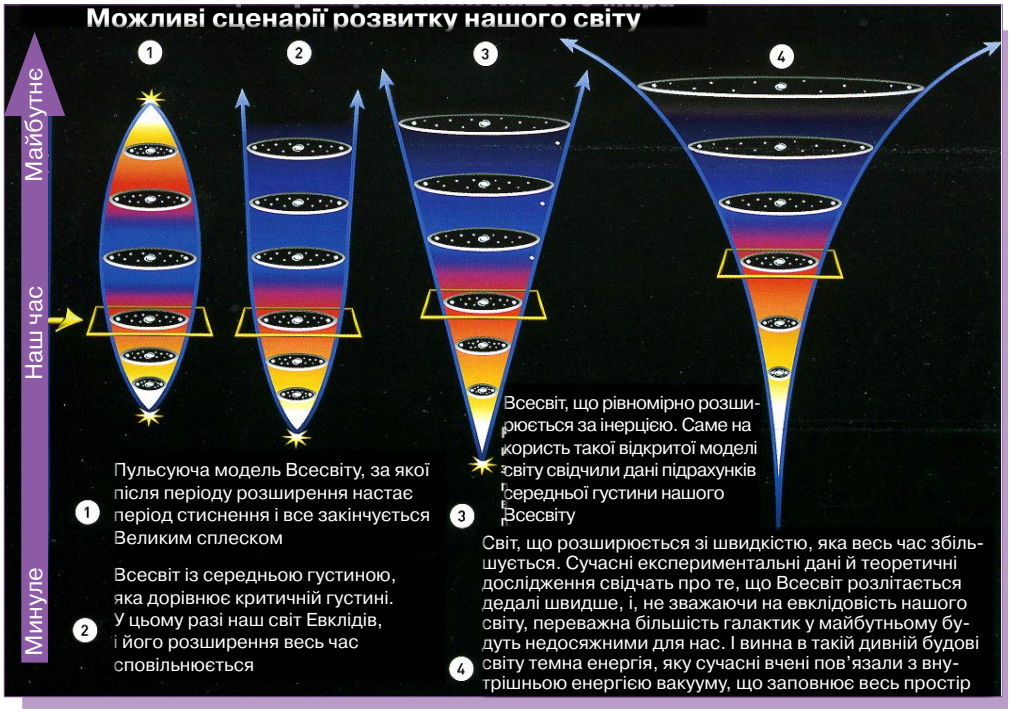
На сучасному етапі вік Всесвіту становить 13,7 млрд років. Його складовими є: темна енергія (73 %), невидима темна матерія (23 %) допоки не з'ясованої природи й видима речовина (лише 4 %), яку можна реєструвати всіма можливими приладами, а також різні поля й випромінювання (мал. 9.10).



Мал. 9.10. Розподіл речовини, матерії та енергії в нашому Всесвіті згідно із сучасними уявленнями

Першу половину своєї історії Всесвіт розширювався з уповільненням. Коли вік Всесвіту становив 7–8 млрд р., кількість темної енергії досягла критичного значення — 33 % від усієї кількості енергії у Всесвіті, і темп розширення почав зростати. З плином часу в майбутньому густина матерії надалі зменшуватиметься, тоді як темної енергії зі сталою густиною ставатиме дедалі більше. Тому розширення Всесвіту з пришвидшенням триватиме й надалі.

Подальша еволюція Всесвіту залежить від природи темної енергії. Розрізняють закриті й відкриті космологічні моделі (мал. 9.11).



Мал. 9.11. Моделі еволюції Всесвіту

«*Закрита*» *модель*: припускають, що в майбутньому на зміну розширенню Всесвіту прийде стиснення його. З огляду на загальну масу Всесвіту, яка становить 10^{52} т, можна припустити, що приблизно через 30 млрд р. вона почне стискатися й через 50 млрд р. знову повернеться в сингулярний стан. Настане «*Великий хруст*», який згодом перейде у «*Великий вибух*». Повний цикл розширення і стиснення Всесвіту становить приблизно 100 млрд р. Тож Всесвіт можна уявити як грандіозну закриту систему, яка зазнає безліч еволюційних циклів. Під час переходу від одного циклу до іншого деякі загальні параметри Всесвіту (*Метагалактики*) можуть бути змінені, зокрема фундаментальні фізичні константи.

Зовсім інакше постає майбутнє Всесвіту у «відкритих» космологічних моделях, які, по суті, є сценаріями «*теплової смерті*» Всесвіту.

Варіант 1: пришвидшене розширення Всесвіту триватиме вічно. Відстані між скупченнями галактик ставатимуть чимраз більшими, порожнеча — дедалі глибшою й чорнішою. Зорі поступово витратять своє ядерне пальне, згаснуть і вже ніколи не засвітяться знову, бо газ, з якого вони утворюються, буде вичерпано. Залишаться тільки охололі колишні білі карлики, нейтронні зорі та чорні діри. Але й карлики, і нейтронні зорі також зникнуть, бо ті нейтрони та протони, з яких вони складаються, розпадуться. Приблизно через 10^{100} р. чорні діри «випаруються» та перетворяться у випромінювання. Отак у Всесвіті зникне будь-яка структура й організація, лише необмежено довго триватиме розширення сукупності фотонів, нейтрино та вкрай розрідженого газу з електронів і позитронів,

які ще залишилися. Усі «життєві сили» такого Всесвіту поступово виснажаться й замруть. Нескінченний простір, холод і темрява — ось неминучий фінал такого Всесвіту.

Варіант 2: Прискорене розширення ставатиме дедалі швидшим, і розвиток Всесвіту відбуватиметься за сценарієм, який називають «*Великим розривом*». Необмежений ріст густини енергії спричинить катастрофічне зростання антигравітації, як наслідок — катастрофічне падіння гравітаційних сил і «розрив» об'єктів. Надскупчення розпадуться на окремі галактики, галактики — на окремі зорі, розірветься Сонячна система, далі планети, кожна молекула, кожний атом і навіть кожна елементарна частинка.

Проте, допоки фізичну природу темної енергії ще тільки з'ясовують, усе це лише гіпотези. Відомо лише, що темна енергія є та створює антигравітацію.

Якщо сум тебе поборе,
Глянь на мить у вічність ти.
Вийди в ніч, там небо — море,
В нім летять, горять світи.

Тільки мить — мільярд не стало,
Тільки мить — мільярд зросло,
Тут життя навік пропало,
Там вже знову розцвіло.

Скільки там світів згоріло!
Скільки згинуло сердець!
Скільки сонць загибель стріло!
Де початок? Де кінець?

Все летить. Життя — хвилина.
Так живи, поки живий.
Слухай мову солов'їну,
Радість, щастя, сонце пий.

Іван Коваленко.
Якщо сум тебе поборе...

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Яка речовина утворює в Галактиці туманності?
2. У Галактиці відомо кілька типів туманностей, не схожих між собою. Що спільного є в усіх цих туманностей?
3. Як називають групи зір, що пов'язані між собою взаємним тяжінням? Наведіть приклади таких груп.
4. Поясніть, чому складно досліджувати нашу галактику? Назвіть основні складові її будови.
5. Коротко опишіть місце розташування Сонячної системи в Галактиці.
6. До складу якого скупчення галактик належить Молочний Шлях? Які ще галактики входять до цього скупчення?
7. За якою ознакою Едвін Габбл розподілив галактики на типи? Поясніть, чим відмінні галактики різних типів.
8. На підставі яких спостережних результатів було відкрито закон Габбла? Сформулюйте його суть.
9. Як виявляє себе у Всесвіті темна матерія? Темна енергія?
10. Коротко опишіть великомасштабну структуру Всесвіту.
11. Опишіть можливі варіанти еволюції Всесвіту.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Найвідоміші залишки Наднової
- Наша Галактика
- Космологічні моделі Всесвіту
- Історія відкриття квазарів
- З історії вивчення Галактики

Б. 10. СОНЯЧНА СИСТЕМА

У лютому 2018 р. світові ЗМІ повідомили, що компанія SpaceX здійснила успішний запуск ракети-носія Falcon Heavy, на борту якого перебуває особистий електромобіль Tesla Roadster засновника компанії Ілона Маска. Falcon Heavy на сьогодні є найпотужнішою й найбільшою в історії космонавтики ракетою-носієм. SpaceX планує використовувати цю ракету-носій та космічний корабель Dragon для приватних подорожей людей навколо місячної орбіти вже до кінця 2018 р. А в майбутньому й для подорожей на Марс. Але перед тим, як вирушити в космічну подорож, варто познайомитися зі своїми космічними сусідами

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Називати планети Сонячної системи та порядок їхнього розташування відносно Сонця; основні гіпотези виникнення Сонячної системи.

Знати поняття планета, астероїд, комета, метеорне тіло, метеор, метеорний потік, радіант, метеорит, карликові планети, малі тіла Сонячної системи.

Розрізняти планети, карликові планети, малі тіла Сонячної системи.

Пояснювати утворення хвоста комети; природу світіння метеорів.

Характеризувати природу планет і малих тіл Сонячної системи; загальні особливості планет земної групи і планет-гігантів, їхні відмінності між собою.

Пояснювати суть астероїдної небезпеки для Землі.

Оцінювати значення вивчення тіл Сонячної системи для природничих наук

БУДЕМО ЗНАЙОМІ

Натепер у Сонячній системі виокремлюють вісім великих планет (Меркурій, Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун), п'ять карликових планет, понад 100 їхніх супутників, пояс астероїдів та пояс Койпера, комети, метеороїди та космічний пил (мал. 10.1).

До 2006 р. астероїди ще називали «*малими планетами*». Після введення поняття *карликової планети* термін «малі планети» практично не вживають.

Що взято за ознаки поділу на ці категорії? Це розміри, форма, домінувальна роль на орбіті. *Планета* — це будь-яке тіло на орбіті навколо Сонця, яке є достатньо масивним, щоб набути сферичної форми, але недостатньо масивне для початку термоядерного синтезу, і яке змогло очистити околиці своєї орбіти від інших тіл.

— Сонечко-зоре, де ти мандруєш,
У космосі з ким ти подорожуєш?
— Поруч зі мною велика родина,
Стелиться Шляхом Чумацьким стежина.
Роєм круг мене всі родичі в'ються,
У променях діти-планети пасуться.
Меншим тепла дістається багато,
А до великих мені не дістати.
Біля дітей моїх стежкою-колом
Внуки-супутники ходять дозором.
Кожний обрав собі стежку-орбіту,
Гарні у мене онуки і діти.

Наталя Карпенко. Космічна родина

Планети поділяють на дві групи, що відрізняються масою, хімічним складом (і відповідно густиною), швидкістю обертання та кількістю супутників.

Планети земної групи — це чотири найближчі до Сонця планети (Меркурій, Венера, Земля, Марс). Вони порівняно невеликі, складаються здебільшого зі щільної кам'янистої речовини та металів. Венера, Земля й Марс мають атмосфери.

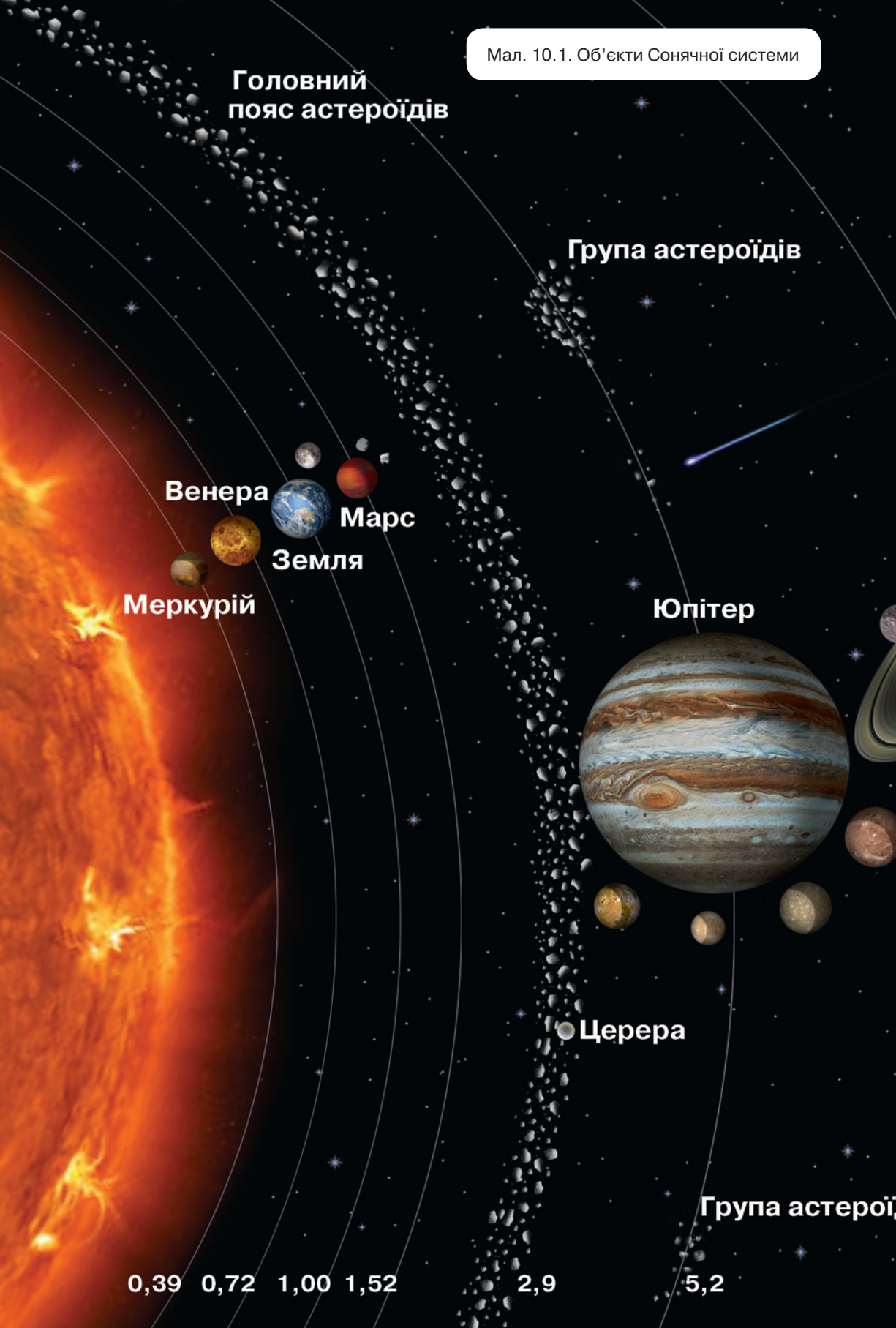
Планети-гіганти (Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун), на відміну від планет земної групи, не мають твердої поверхні, бо за хімічним складом (99 % водню та гелію) та густиною (близько 1 г/см^3) вони нагадують зорі, бо температура в їхніх надрах сягає 10 000 °С. Конвекція спричинює помітний потік тепла з надр, що може навіть перевищувати потік, одержуваний ними від Сонця. У планет-гігантів атмосфера є безпосереднім продовженням надр планети. Порівняти планети земної групи та планети-гіганти ви зможете, проаналізувавши інформацію, наведену в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1

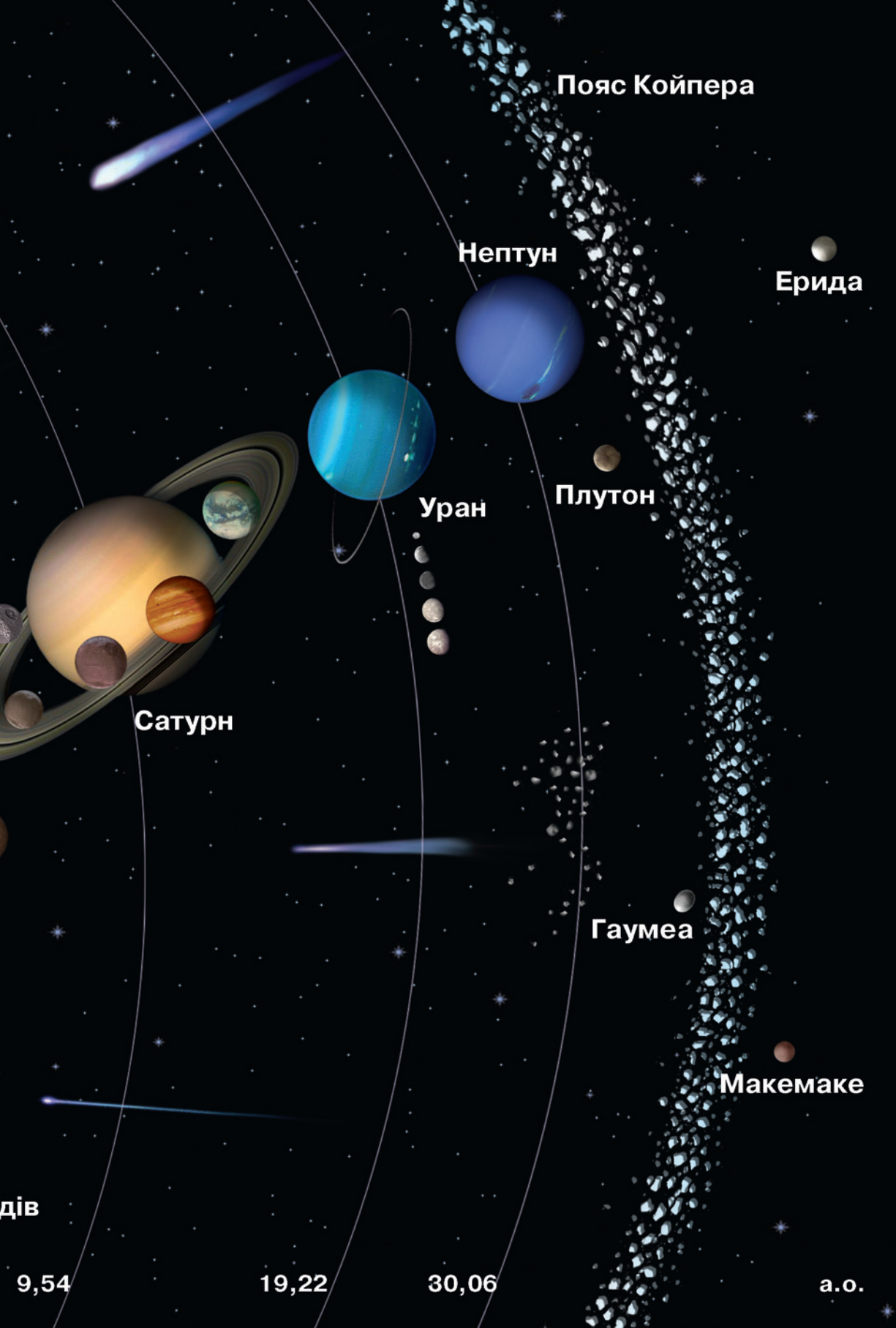
Порівняння планет земної групи та планет-гігантів

Основні параметри	Планети земної групи	Планети-гіганти
Середня густина	≈ 5 г/см^3	≈ 1 г/см^3
Хімічний склад	Fe, Si, Al	H_2, He
Температура під хмарами	200–700 K	≈ 2000 K
Кількість супутників	3	163

Чіткий поділ планет-гігантів на дві групи — це дуже важливий факт, який обов'язково потрібно брати до уваги, щоб розробити теорію походження й еволюції Сонячної системи.



Мал. 10.1. Об'єкти Сонячної системи


Пояс Койпера
Нептун
Ерида
Уран
Плутон
Сатурн
Гаумеа
Макемаке
дів
9,54
19,22
30,06
а.о.

Окрім планет, у Сонячній системі є ще карликові планети — небесні тіла, які обертаються по орбіті навколо Сонця; які є достатньо масивними, щоб під дією власних сил гравітації підтримувати близьку до кулястої форму; але які не очистили простір своєї орбіти від інших тіл і не є супутниками планет. За цим визначенням у Сонячній системі є п'ять визнаних карликових планет: Церера, Плутон, Гаумеа, Макемаке та Ерида.

Шість з восьми планет і три карликові планети мають природні супутники. Усі чотири планети-гіганти, окрім великих супутників, мають безліч дрібних й оточені кільцями пилу та інших частинок.

Малі тіла Сонячної системи — інші об'єкти, що обертаються навколо Сонця.

У Сонячній системі є дві ділянки, заповнені малими тілами. *Пояс астероїдів*, розташований між Марсом і Юпітером, за складом подібний до планет земної групи, оскільки складається переважно із силікатів і металів. Найбільшими об'єктами поясу астероїдів є: карликова планета Церера та астероїди Паллада і Веста.

За орбітою Нептуна на відстані близько 50 а. о. від Сонця розташований *пояс Койпера*. Хоча пояс Койпера схожий на головний пояс астероїдів, він приблизно в 20 разів ширший і в 20–200 разів масивніший за нього. Як і головний пояс астероїдів, він складається переважно з малих тіл, тобто матеріалу, що залишився після формування Сонячної системи. На відміну від об'єктів головного поясу астероїдів, об'єкти поясу Койпера складаються переважно з льоду, амоніаку та метану. Найбільшими об'єктами поясу є карликові планети: Плутон, Гаумеа й Макемаке.

Раніше вважали, що пояс Койпера є основним джерелом короткоперіодичних комет. Проте спостереження, проведені із середини 1990-х років, показали, що пояс Койпера динамічно стабільний і що справжнє джерело цих комет — розсіяний диск. Є припущення, що джерело комет з довгим періодом обертання — гіпотетична область Сонячної системи — *хмара Оорта*. Очікувана відстань від Сонця до зовнішньої межі хмари Оорта становить 50 000–100 000 а. о. (приблизно світловий рік). Це — майже чверть відстані до Проксіми Кентавра — найближчої до Сонця зорі. Зовнішня межа хмари Оорта визначає гравітаційний кордон Сонячної системи. Проте безпосередніми спостереженнями існування хмари Оорта поки що не підтверджено.

Об'єктами Сонячної системи ще є метеороїди та космічний пил, що обертаються навколо Сонця. А від самого Сонця поширюється потік плазми (*сонячний вітер*), який утворює *геліосферу*.

В епіцентрі буття, в епіцентрі безмежного світу,
у космічній імлі, на крутих галактичних шляхах,
ми народжені сонячним вітром. І сонячний вітер
віє в наших думках, віє в наших речах і ділах.

Євген Гуцало

ВІЧНІ КАРУСЕЛІ

Усі планети обертаються навколо Сонця в одному напрямку (у напрямку осьового обертання самого Сонця), майже круговими орбітами, площини яких мають невеликий нахил одна до одної. Площину земної орбіти (*екліптику*) вважають основною площиною для відліку нахилу орбіт планет та інших тіл, що обертаються навколо Сонця.

Завдяки майже круговій формі планетних орбіт і великим відстаням між ними виключена можливість тісних зближень між планетами, коли вони могли б істотно змінювати свій рух унаслідок взаємного тяжіння. Це забезпечує тривале та стійке існування Сонячної системи.

Закономірності руху планет завжди привертали увагу людей. Саме вивчення їхнього руху й заклало основи створення теорії гравітації Ньютона, що згодом сприяло створенню спеціальної й загальної теорій відносності Ейнштейна.

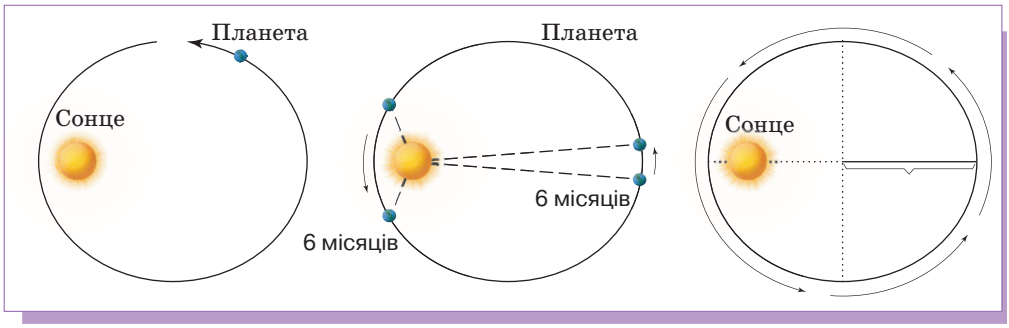
Усі планети стали в ряд,
Починається парад!
Раз — Меркурій-мандрівник,
Два — Венера, ясний лик.
Три — Земля вітає нас,
А чотири — красень Марс.
П'ять — Юпітер, шість — Сатурн,
Сім — Уран, за ним — Нептун.
Вісім сонячних планет
Поспішають на бенкет.
Був Плутон завжди дев'ятим,
Не беруть його на свято!
Він найменшим уродився
І до карликів прибився.

Наталя Карпенко. Парад планет

Заслуга відкриття законів руху планет належить Йоганну Кеплеру (1571 – 1630, Німеччина). Проте шлях до їхнього встановлення був нелегким. Ще у II ст. н. е. астроном Клавдій Птоломей (87 – 165, Римська імперія) запропонував геоцентричну (давньо гр. Γη, Γαια — Земля) «систему світу», згідно з якою навколо Землі рухаються Місяць, Меркурій, Венера, Сонце, Марс, Юпітер, Сатурн, зорі. Незважаючи на те, що вже й у ті часи видимі спостереження за рухом Місяця, Сонця, зір, планет вказували на те, що цей рух набагато складніший, геоцентрична система проіснувала 14 століть. Сміливим ученим, який «зрушив Землю, зупинивши Сонце», був Миколай Коперник (1473 – 1543, Польща). Він визначив відносні відстані (у радіусах орбіти Землі) кожної з планет від Сонця, а також їхні сидеричні (відносно зір) періоди обертання навколо Сонця. Це дало змогу Йогану Кеплеру сформулювати три закони руху планет. Згідно з першим законом усі планети обертаються навколо Сонця еліпсами, а Сонце розташоване в одному з фокусів цих еліпсів. Головний наслідок першого закону Кеплера: відстань між планетою та Сонцем не залишається сталою.

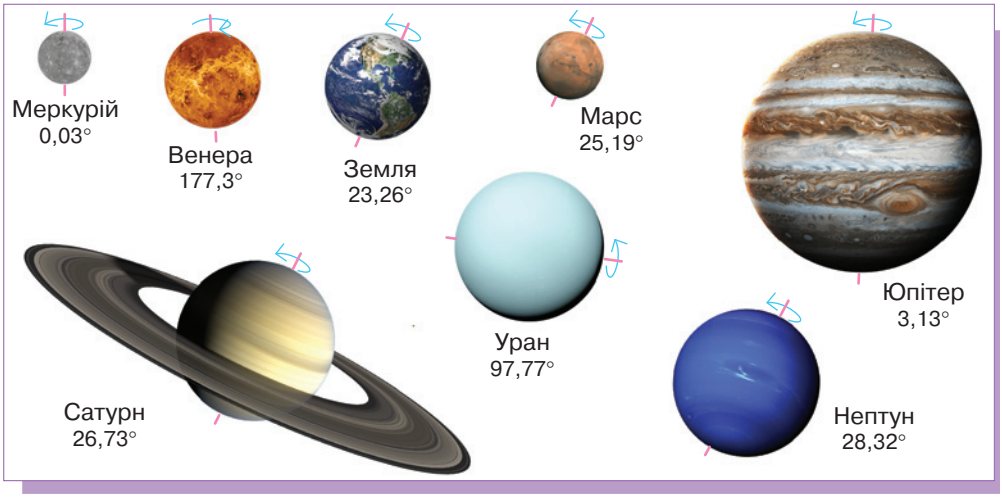
За другим законом радіус-вектор планети за однакові інтервали часу описує однакові площі. Це означає, що під час руху планети орбітою також змінюється її лінійна та кутова швидкості. Найбільшу швидкість планета має в точці орбіти (перигелії), коли відстань до Сонця є найменшою, а найменшу швидкість — в афелії, коли відстань до Сонця є найбільшою. Другий закон Кеплера фактично визначає відомий фізичний закон збереження енергії: сума кінетичної та потенціальної енергії в замкненій системі є величиною сталою. Кінетичну енергію визначає швидкість планети, а потенціальну — відстань між планетою та Сонцем, тому під час наближення до Сонця швидкість планети зростає.

На відміну від двох перших законів Кеплера, що стосуються властивостей орбіти кожної окремо взятої планети, третій закон пов'язує властивості орбіт різних планет між собою. Цей закон Кеплера пов'язує середні відстані планет від Сонця з їхніми періодами обертання навколо нього. Закони Кеплера справедливі не лише для планет, а й для їхніх супутників, як природних, так і штучних. На малюнку 10.2 схематично представлено описані в законах закономірності руху планет.



Мал. 10.2. Ілюстрації до законів Кеплера

Планети обертаються також навколо своїх осей, причому в усіх планет, окрім Венери й Урана, обертання відбувається в прямому напрямку, тобто, у тому самому, що й їхнє обертання навколо Сонця. Надзвичайно повільне обертання Венери відбувається в зворотному напрямку, а Уран обертається, ніби лежачи на боці (мал. 10.3).



Мал. 10.3. Напрямки обертання планет навколо своїх осей

Ці закономірності руху планет у поєднанні з розподілом їх на дві групи за фізичними властивостями вказують на те, що Сонячна система не є випадковим скупченням космічних тіл, а утворилася в єдиному процесі. Тому вивчення кожного з тіл Сонячної системи робить внесок у висвітлення походження всієї Сонячної системи, а разом з тим і в дослідження походження, еволюції та сучасної будови нашої Землі.

НАШ СУПУТНИК

Місяць — найближче до Землі небесне тіло, яке перебуває на середній відстані 384 400 км від неї й має радіус 1738 км. Маса Місяця значно поступається масі Землі, а сила тяжіння на його поверхні приблизно в 6 разів менша, ніж на Землі. Земля й Місяць перебувають майже на однаковій відстані від Сонця й одиниці поверхні на Землі та Місяці отримують від Сонця майже однакову кількість енергії, однак незважаючи на це фізичні умови на їхніх поверхнях суттєво відрізняються. На Місяці немає життя. Сила тяжіння Місяця мала для того, щоб утримувати гідро- й атмосферу. Він оточений лише надзвичайно розрідженою газовою оболонкою з водню, гелію, неону та аргону, а також протяжною пиловою хмарою (див. табл. 10.2).

Таблиця 10.2

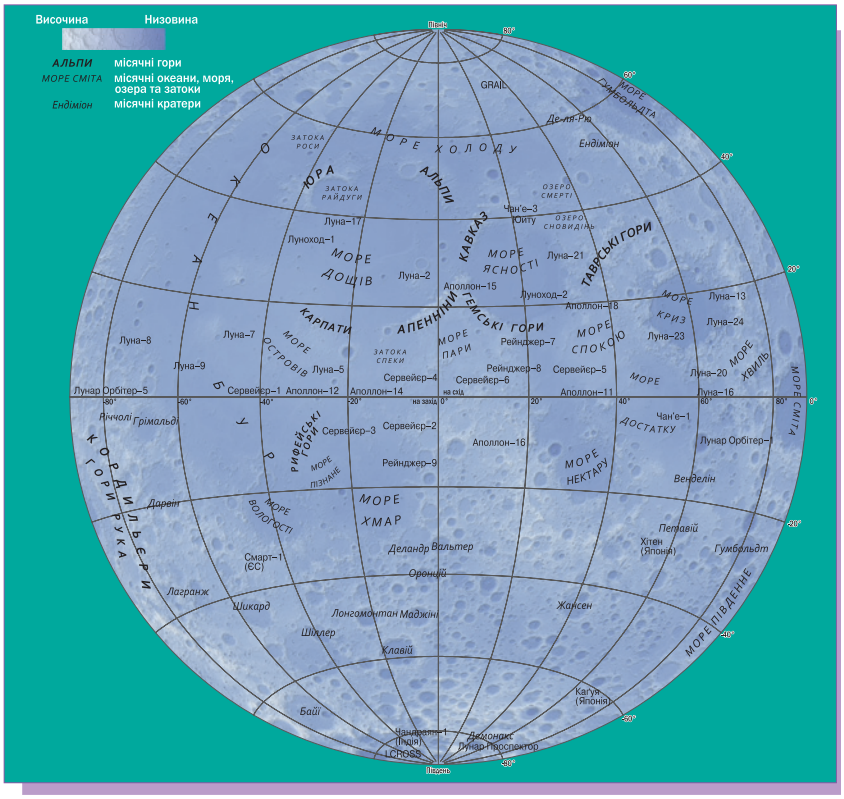
Порівняння параметрів Землі та Місяця

Параметри	Земля	Місяць
Радіус	6378 км	0,25 $R_{Землі}$
Маса	$6 \cdot 10^{24}$ кг	1/81 $M_{Землі}$
Густина	5,5 г/см^3	3,3 г/см^3
Прискорення вільного падіння	9,81 м/с^2	1/6 g
Основний склад атмосфери	N_2, O_2, H_2O	—
Велика піввісь орбіти	1 а. о. ≈ $150 \cdot 10^6$ км	$3{,}8 \cdot 10^6$ км
Рік	365 діб 5 год 48 хв 46 с	
Температура поверхні	Середня +16 °С Максимальна +60 °С Мінімальна –88 °С	Удень +130 °С Уночі –160 °С

Протягом мільярдів років погода на Місяці однакова: 2 тижні світить Сонце й поверхня нагрівається до температури +130 °С, а потім після двотижневої ночі поверхня охолоджується й температура на світанку падає до –160 °С.

Стале магнітне поле Місяця принаймні в 1000 разів менше, ніж геомагнітне (тобто земне). На поверхні Місяця навіть неозброєним оком видно темніші та світліші ділянки (мал. 10.4). Темніші було названо «морями». Однак, як відомо, у місячних морях немає води. Моря утворилися після виверження вулканів, і за хімічним складом там більше сполук Феруму, тому вони мають темніший колір. Світліші ділянки, що назвали материками, містять більше сполук Алюмінію.

Під час спостережень у телескоп видно, що на материках переважають кратери — круглі гори діаметром до кількох сотень кілометрів, які мають вали заввишки кілька кілометрів. Більшість кратерів метеоритного походження. На Місяць постійно падають тисячі метеоритів різної маси, які безупинно змінюють зовнішній вигляд його поверхні. Щоправда, великі кратери з діаметром кілька сотень кілометрів утворилися дуже давно, ще 4 млрд років тому, коли падало більше метеоритів. Протягом мільярдів років космічне «бомбардування» так роздробило верхній шар місячного ґрунту, що він перетворився на **пухкий матеріал** — **реголіт** — різнозернистий порошок темно-сірого й чорного кольору, що легко зминається в пухкі грудочки.



Мал. 10.4. Мапа видимої частини Місяця

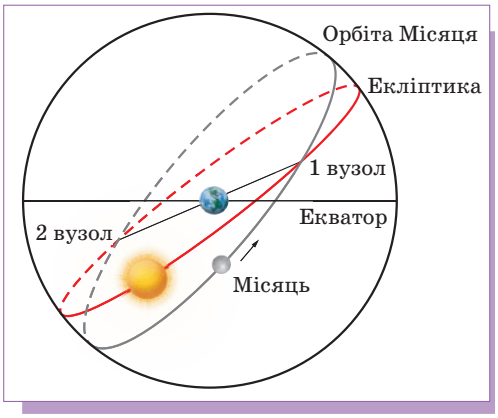
Зразки місячних порід мають магматичне походження, їхній хімічний склад загалом такий самий, як і склад земних порід, але з нестачею Нікелю й Кобальту та перевагою Феруму, Титану, Цирконію та Ітрію.

Товщина місячної кори не перевищує 50–60 км. Нижче до глибини 1000 км розташована мантія, а в центрі Місяця міститься силікатне, майже тверде ядро діаметром близько 1500 км, температура якого перевищує 1000 °С. На глибині 40 км температура місячної кори сягає 300 °С, оскільки місячне тепло просочується з надр назовні.

Вивченню внутрішньої будови Місяця сприяють «місяцетруси», осередки яких розташовані на глибині від 700 до 1100 км. Тектонічна діяльність на Місяці дуже слабка, та повністю не припинилася. Факти свідчать про те, що в минулому Місяць мав магнітне поле й був магнітно-тектонічно активнішим. У наш час повна енергія місяцетрусів, зареєстрована сейсмометрами, менша, ніж енергія землетрусів, у 1 млрд разів. Здебільшого це місяцетруси, спричинені падінням метеоритів. Однак у 1958 р. співробітники Кримської астрофізичної обсерваторії спостерігали в телескоп виверження газів з кратера Альфонс. А в листопаді 1971 р. група американських дослідників виявила в районі Океану Бур активний гейзер.

Рух Місяця навколо Землі відбувається майже в площині екліптики великим колом, нахиленим до екліптики приблизно на 5°, а не в площині

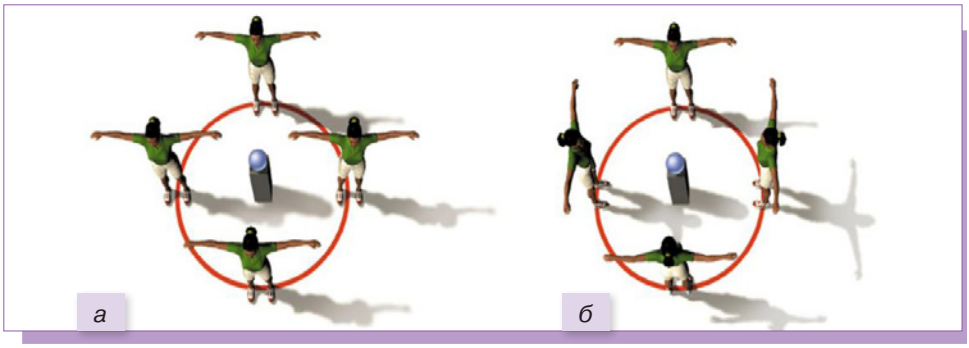
земного екватора (більшість природних супутників інших планет обертається в площині екватора своїх планет). Це коло перетинає екліптику у двох діаметрально протилежних точках, які називають *вузлами місячної орбіти*. Період обертання Місяця становить 27,3 доби. За цей час Місяць описує на небесній сфері повне коло й повертається до тієї самої точки (мал. 10.5).



Мал. 10.5. Місячна орбіта

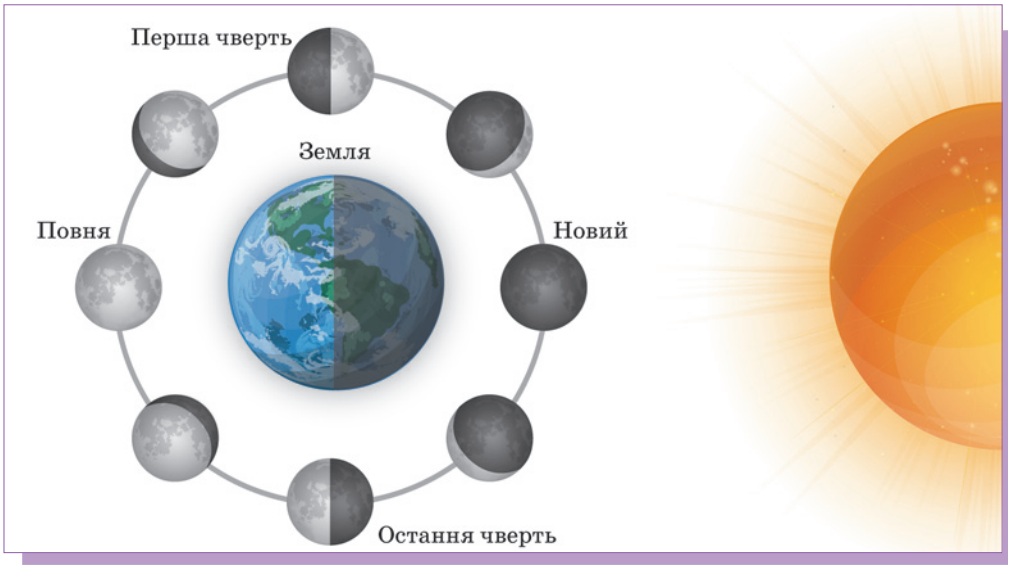
Видимий рух Місяця на тлі зоряного неба пояснюють дійсним його рухом навколо Землі, який відбувається з лінійною швидкістю 1 км/с. На тлі зоряного неба Місяць зміщується із заходу на схід із середньою кутовою швидкістю 13,2° на добу. Період обертання Місяця навколо осі дорівнює періоду його обертання навколо Землі. І через це Місяць завжди повернутий до Землі одним боком. Обертання такого типу називають *синхронним*. На малюнку 10.6, *а* видно, що було б, якби Місяць не обертався навколо своєї осі: за місяць ми встигли б побачити його з усіх боків. А на малюнку 10.6, *б* видно: щоб завжди бути повернутим до нас «обличчям», Місяць має щотижня повертатися на 90°.

Місяцю мій, брате,
Де красу згубив,
Став таким щербатим?
Ти ріжком світив!
Мовив Місяць щиро:
Це не я свічу!
В зоряному вирі
Темрявою мчу.
Я завжди мандрую
Колом круг Землі.
Сонечко дарує
Промені мені.
Їх то забагато,
То впадуть на край…
Як мене назвати
Ти запам'ятай!
Висне в небі кома,
Дужка букви «ер», —
Кожному відомо,
Що росту тепер!
А коли дивлюся
Літерою «ес»,
То старим зовуся
І зникаю десь.
Визирну з колиски
Гострого ріжка,
Набираю блиску
Аж до срібляка.
Я чотири тижні
Змінюю свій лик!
Мандри дивовижні,
Й знову молодик!
Наталя Карпенко.
Місяць-мандрівник



Мал. 10.6. Ілюстрація синхронного обертання

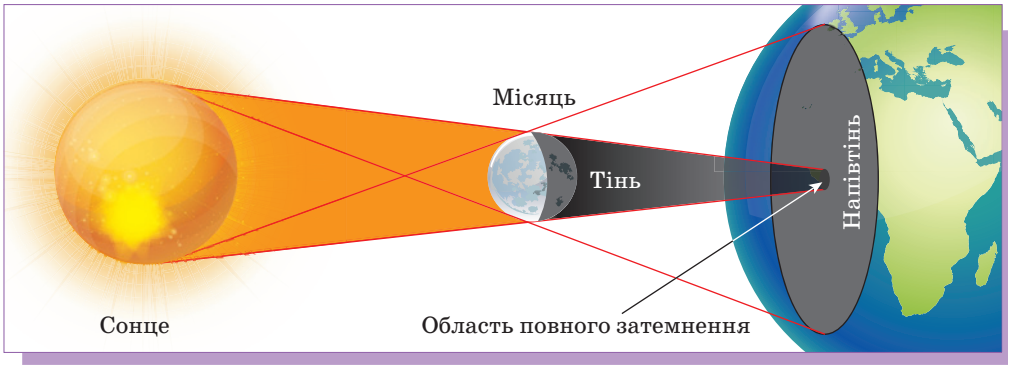
Місяць змінює своє видиме положення на небі не тільки відносно зір, а й відносно Сонця. Тому із Землі ми бачимо в різних пропорціях освітлену та неосвітлену його частини (мал. 10.7). Лінію, яка відокремлює освітлену частину Місяця від неосвітленої, називають **термінатором.**



Мал. 10.7. Фази Місяця

Фазу, коли Місяця не видно, називають *новим місяцем*. Приблизно через сім діб Місяць видно на небі у формі півкруга. Цю фазу називають *першою чвертю*, ще через сім діб настає фаза *повного місяця*, або *повня*. Ще через сім діб — *третя*, або *остання*, чверть, де, як і в першій, видно його половину.

З усіх астрономічних явищ, напевне, найбільшу увагу людей привертають Сонячні та Місячні затемнення. Затемнення Сонця відбувається в той момент, коли тінь від Місяця досягає поверхні Землі, затемнення Місяця — коли земна тінь покриває Місяць (мал. 10.8).



Мал. 10.8. Ілюстрація сонячного затемнення

Хоча Місяць через кожні 29,5 доби перебуває між Сонцем і Землею, проте затемнення відбуваються набагато рідше, бо площина орбіти Місяця нахилена до екліптики під кутом 5°. Затемнення Місяця або Сонця можуть відбутися тільки тоді, коли Місяць перебуває поблизу вузла орбіти. Вузли місячної орбіти зміщуються в космічному просторі, тому затемнення відбуваються в різні пори року. Період повторення затемнень, або *сарос*, знали ще єгипетські жерці 4000 років тому. Хоча сонячні затемнення відбуваються частіше за місячні, їх набагато складніше побачити, бо повне сонячне затемнення видно в межах досить вузької смуги Землі, на яку падає місячна тінь. Водночас затемнення Місяця можна спостерігати відразу на всій півкулі.

Відоме з літописів сонячне затемнення, що сталося 1 травня 1185 р., було сприйнято як попередження про трагічний результат походу князя Ігоря (мал. 10.9, *а*). Затемнення Місяця 12 лютого 1161 р. автор літопису пов'язав зі смертю князя (мал. 10.9, *б*). Адже в давнину затемнення вважали лихою ознакою, яка віщувала війну, голод, пошесті, смерть. Проте, є здогадки, що деякі літописці знали справжні причини затемнення Сонця.

Мал. 10.9. *а* — зображення затемнення Сонця. Радзивиллівський літопис, арк. 155 зв.; *б* — зображення затемнення Місяця. Радзивиллівський літопис, арк. 243 зв.

НАШІ НАЙБЛИЖЧІ СУСІДИ

Меркурій — найближча до Сонця планета. Меркурій є ще й найменшою та найшвидшою планетою в Сонячній системі. Меркурій рухається орбітою навколо Сонця із середньою швидкістю 47,36 км/с, що в 1,6 разу більше від швидкості Землі. Така швидкість і той факт, що Меркурій розташовано ближче до Сонця, ніж Земля, спричинюють те, що один рік на Меркурії (час його повного оберту навколо Сонця) становить усього 87,97 земного дня.

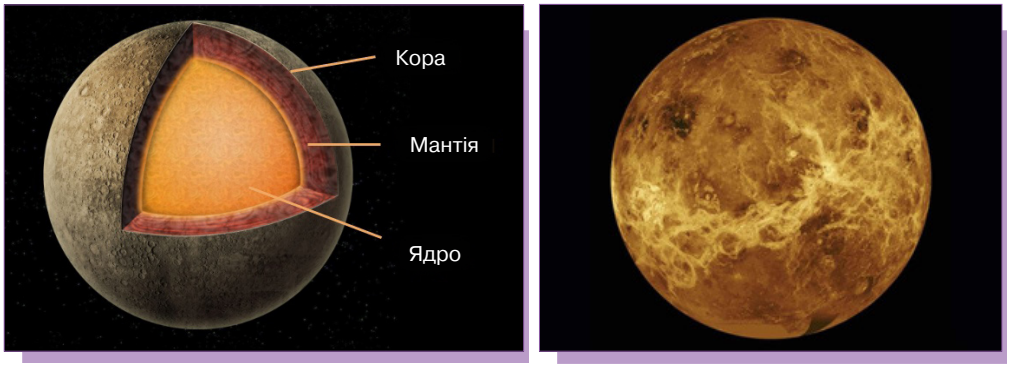
Для спостережень із Землі Меркурій — незручний об'єкт. Він видимий лише під час сходу або заходу Сонця й досить низько над горизонтом (особливо в північних широтах). У низьких широтах Меркурій спостерігати ліпше. Період його найліпшої видимості настає кілька разів на рік і триває близько 10 днів. Проте навіть у ці періоди побачити Меркурій неозброєним оком досить складно (неяскрава зірка на світлому тлі неба).

Для спостерігача, що перебуває на поверхні Меркурія, здається, що Сонце дивно рухається його небосхилом. Свій рух воно може пришвидшувати чи сповільнювати, може зупинятися й навіть рухатися у зворотному напрямку. Це пояснюють тим, що орбіта Меркурія дуже витягнута. Більше про Меркурій ви дізнаєтеся, проаналізувавши дані, наведені в таблиці 10.3.

Таблиця 10.3

Характеристики Меркурія			
Орбітальні		**Фізичні**	
Велика піввісь	57 909 100 км (0,39 а. о.)	Середній радіус	2439,7 км (0,38 $R_{Землі}$)
Ексцентриситет	0,21	Маса	$3{,}3 \cdot 10^{23}$ кг (0,055 $M_{Землі}$)
Орбітальний період	87,9691 доби	Середня густина	5,427 г/см^3
Період обертання навколо осі	58,65 доби	Прискорення вільного падіння	3,7 м/с^2 (0,38 g)
Середня орбітальна швидкість	47,87 км/с	Температура поверхні	мінімальна 100 K максимальна 700 K
Нахил орбіти	7° до екліптики	Атмосфера	немає (є розріджена газова оболонка
Супутники	немає	Магнітне поле	дуже слабке

Те, що в Меркурія є магнітне поле, дає змогу припустити, що він має досить велике металеве ядро, розміри якого можуть сягати 2/3 діаметра планети. Вважають, що в ядрі зосереджено до 80 % усієї маси Меркурія, і цим визначена його найбільша середня густина поміж усіх планет Сонячної системи (мал. 10.10).



Мал. 10.10. Меркурій

Поверхня Меркурія вся поцяткована кратерами, утворення яких можна пояснити метеоритним бомбардуванням планети, що відбувалося мільярди років тому.

Венера належить до планет, відомих людству з найдавніших часів. Оскільки цю планету можна спостерігати ввечері після заходу сонця або вранці перед світанком, її ще називають «зоря вечірня» або «вранішня зоря». Венера друга в Сонячній системі й найближча до Землі планета. Це третій за яскравістю об'єкт на небі; її блиск поступається лише блиску Сонця та Місяця. На відміну від Землі та інших планет, Венера обертається навколо своєї осі у зворотному напрямку до обертання навколо Сонця. Більше про цю планету ви дізнаєтеся, проаналізувавши інформацію, наведену в таблиці 10.4.

Таблиця 10.4

Характеристики Венери			
Орбітальні		**Фізичні**	
Велика піввісь	108 208 930 км (0,72 а. о.)	Середній радіус	6051,8 км (0,95 $R_{Землі}$)
Ексцентриситет	0,0068	Маса	$4{,}9 \cdot 10^{24}$ кг (0,815 $M_{Землі}$)
Орбітальний період	224,70 доби	Середня густина	5,204 г/см^3
Період обертання навколо осі	243,02 доби	Прискорення вільного падіння	8,87 м/с^2 (0,9 g)
Середня орбітальна швидкість	35,02 км/с	Температура поверхні	мінімальна 670 K середня 735 K максимальна 800 K
Нахил орбіти	3,4° до екліптики	Атмосфера	~96,5 % — CO_2 ~3,5 % — N_2 0,018 % — SO_2 0,007 % — Ar 0,003 % — H_2O 0,0017 % — CO 0,0012 % — He 0,0007 % — Ne та ін
Супутники	немає	Магнітне поле	дуже слабке

Дослідження цієї планети надзвичайно ускладнене через її дуже щільну атмосферу, що складається на 96 % з вуглекислого газу. Атмосферний тиск біля поверхні Венери становить близько 9 МПа, а густина атмосфери в 35 разів перевищує густину земної атмосфери. Кількість вуглекислого газу в атмосфері Венери в 400 тис. разів більша, ніж у земній атмосфері. Велика кількість вуглекислого газу в атмосфері Венери спричиняє явище парникового ефекту, вияви якого значно сильніші, ніж на Землі. Через високий коефіцієнт відбиття сонячного світла хмаровим шаром поверхня Венери отримує менше сонячної енергії, ніж земна. Але через інтенсивне поглинання великою кількістю вуглекислого газу теплової енергії в нижніх шарах атмосфери за мільярди років існування планети поверхня розігрілася так, що каміння буквально світиться. Унаслідок високого розігріву на планеті немає води (мал. 10.11).

Мал. 10.11. Венера

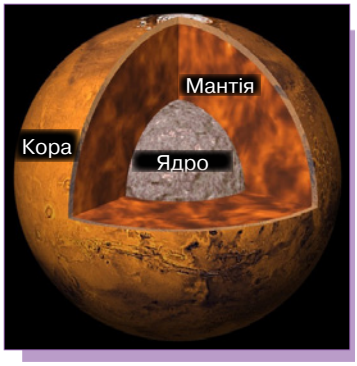
Протягом двомісячної ночі на поверхні Венери немає абсолютної темряви. Крім постійних спалахів блискавок, які супроводжує гуркіт грому, там уночі видно свічення верхніх шарів атмосфери. Нічне освітлення підсилюють вогні від активних вулканів.

Марс за розташуванням — четверта від Сонця планета Сонячної системи й сьома за розміром і масою. Іноді Марс називають «червоною планетою» через червонуватий колір поверхні, зумовлений сполуками феруму(III). На зоряному небі вона виглядає як цятка червоного кольору, що час від часу значно перевершує за блиском зорі першої величини. Більше про цю планету ви дізнаєтеся, проаналізувавши інформацію, наведену в таблиці 10.5.

Таблиця 10.5

Характеристики Марса			
Орбітальні		**Фізичні**	
Велика піввісь	227 939 100 км (1,52 а. о.)	Середній радіус	3389,5 км (0,53 $R_{Землі}$)
Ексцентриситет	0,093	Маса	$6{,}42 \cdot 10^{23}$ кг ($0{,}107\ M_{Землі}$)
Орбітальний період	686,97 доби	Середня густина	3,93 г/см^3
Період обертання навколо осі	24 год 37 хв	Прискорення вільного падіння	3,71 м/с^2 (0,38 g)
Середня орбітальна швидкість	24,077 км/с	Температура поверхні	мінімальна 186 K середня 227 K максимальна 268 K
Нахил орбіти	1,9° до екліптики	Атмосфера	вуглекислий газ (95 %) з домішками азоту, аргону, кисню та інших газів (є й домішка водяної пари)
Супутники	Фобос і Деймос	Магнітне поле	дуже слабке та нестійке

За тривалістю доби (24,6 год) та зміною пір року (вісь обертання нахилена під кутом 65° до площини орбіти) Марс нагадує нашу планету (мал. 10.12).



Мал. 10.12. Марс

У центрі Марса міститься ядро діаметром близько 2968 км, яке складається здебільшого із заліза, містить Сульфур та перебуває в рідкому стані. Ядро оточене мантією із силікатів.

Марс має розріджену атмосферу. Це дає змогу вивчати його поверхню безпосередньо із Землі. Дві третини поверхні Марса займають світлі ділянки, які назвали *материками*, близько третини — темні ділянки, названі *морями*. Ці ділянки зберігають свою форму з плином часу, тому була можливість скласти точні карти поверхні.

Марс, як і Місяць, укритий кратерами. До речі, п'ять кратерів мають імена астрономів, які народились або працювали в Україні (Барабашов, Фесенков, Герасимович, Струве, Сімейкін), є також кратери з топонімічними назвами — Євпаторія та Фастів. Є на Марсі й безладно розташовані пагорби та провалля, різної природи утворення. Вони схожі на русла висохлих річок, системи вузьких тріщин, гірські райони й окремі гори вулканічного походження.

Поблизу полюсів восени утворюються білі плями — полярні шапки. Коли в північній півкулі Марса настає літо, північна полярна шапка швидко тане в розмірах, але в цей час росте інша — біля південного полюса, де настає зима. Виявляється, обидві полярні шапки складаються з твердого карбон(IV) оксиду, тобто сухого льоду, що утворюється внаслідок замерзання вуглекислого газу, який є головним складником атмосфери, та із замерзлої води з домішкою мінерального пилу.

Марсіанський ґрунт — це дрібнодисперсний матеріал (реголіт), у якому вміст Силіцію становить 15–20 %, Феруму — 12–16 %, Фосфору — близько 10 %, Мангану та Кобальту — по 7 %, а також є Кальцій, Хром, Нікель, Ванадій, Титан, Молібден, Цирконій тощо. Жодна з відомих земних гірських порід не збігається за складом з марсіанськими.

Наразі немає наукових доказів існування життя на Марсі. Хоча припускають, що воно там може бути. Ще до початку польотів на Марс він був першим кандидатом на виявлення там позаземного життя. На Марсі знайдено зразки льоду, що є однією з умов існування життя. За останніми відомостями в минулому на Марсі була вода в рідкому стані, поверхню планети вкривали моря. Цілком можливо, що кілька мільйонів років тому клімат на Марсі був вологішим. Доказом цього є рельєф планети. Одна з версій втрати Марсом води — це результат дії сонячного вітру.

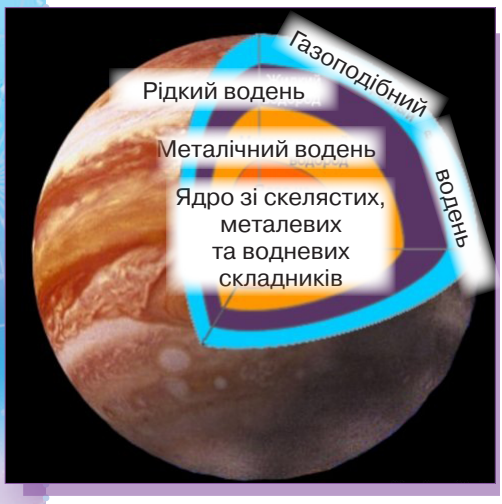
Марс має два невеликі супутники — Фобос і Деймос. Супутники обертаються синхронно з планетою (у площині її екватора) круговими орбітами радіусом 6 і 20 тис. км відповідно. За допомогою космічних апаратів визначено, що супутники мають неправильну форму й у своєму орбітальному положенні повернуті до планети завжди тим самим боком.

ДАЛЕКІ ГІГАНТИ

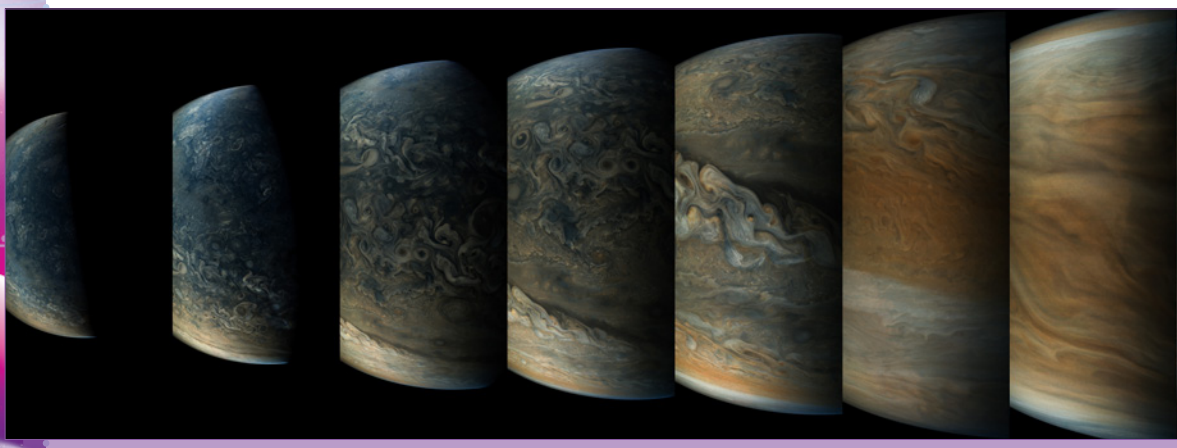
Юпітер — п'ята й найбільша планета Сонячної системи (більш ніж удвічі масивніша за всі інші планети разом узяті). Юпітер швидше за всі інші планети обертається навколо своєї осі. Більше про цю планету ви дізнаєтеся, проаналізувавши інформацію, наведену в таблиці 10.6.

Таблиця 10.6

Характеристики Юпітера			
Орбітальні		**Фізичні характеристики**	
Велика піввісь	778 547 200 км (5,2 а. о.)	Середній радіус	69 911 км ($10{,}97\ R_{Землі}$)
Ексцентриситет	0,048	Маса	$1{,}9 \cdot 10^{27}$ кг ($318\ M_{Землі}$)
Орбітальний період	11,86 року	Середня густина	1,3 г/см^3
Період обертання навколо осі	9 год 55 хв 30 с	Прискорення вільного падіння	24,79 м/с^2 (2,52 g)
Середня орбітальна швидкість	13,06 км/с	Температура поверхневих шарів	128 K
Нахил орбіти	1,3° до екліптики	Атмосфера	86,1 % — водень 13,8 % — гелій
Супутники	67	Магнітне поле	у 50 разів сильніше за земне



За своїми характеристиками Юпітер обіймає проміжне положення між планетними й зоряними утвореннями, його остаточне формування ще й досі не завершилося. Надра планети дають свій власний потік енергії, у середньому вдвічі більший, ніж Юпітер отримує від Сонця. На глибині 20 000 км водень переходить у металічний стан, у якому нагадує розплавлений метал: зокрема добре проводить електричний струм. Водню з такими властивостями (густина 4 г/см^3 за тиску 106 атм) на Землі немає, хоча науковці не полишають



Мал. 10.13. Знімки Юпітера, зроблені за допомогою космічного апарату «Juno» («Юнона»)

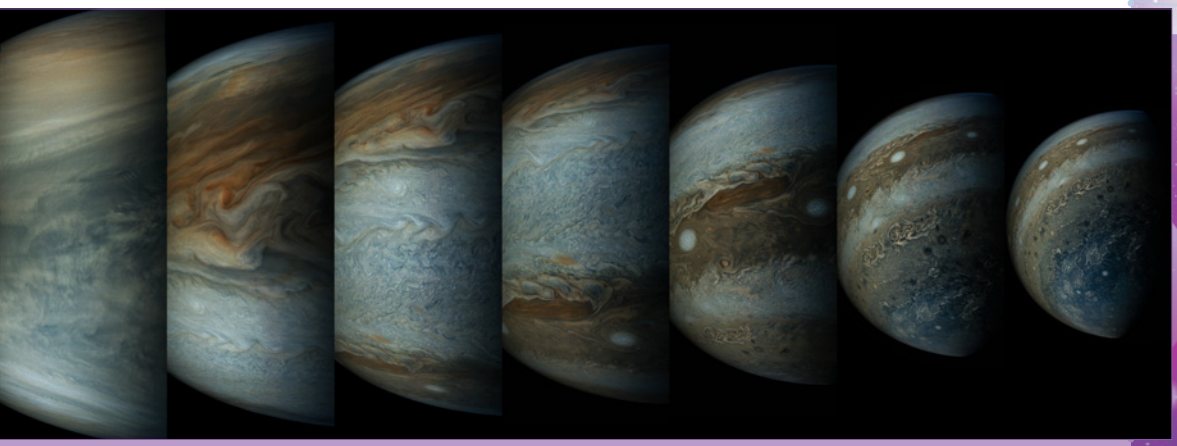
спроб добути його. Унаслідок генерування в цій металевій оболонці електричного струму виникає потужне магнітне поле, напруженість якого в 50 разів більша, ніж у земного. Це поле формує навколо планети протяжну магнітосферу з декількома радіаційними поясами (мал. 10.13).

Навіть у невеликий телескоп на Юпітері добре помітні світлі й темні смуги, що простягаються паралельно екватору. Є низка гіпотез, що пояснюють їхнє походження. Так, за однією з версій смуги виникали в результаті конвекції в атмосфері планети-гіганта — за рахунок підігрівання з надр і, як наслідок, підняття одних шарів й охолодження та опускання вниз інших. Конвекційні потоки, що виносять внутрішнє тепло до поверхні, зовні виглядають як світлі зони й темні пояси. Верхній шар світлих хмар складається з кристаликів амоніаку NH_3, має температуру —107 °C і тиск порядку 1 атм, що відповідає висхідним потокам. Розташовані нижче темні хмари поясів складаються, імовірно, з червоно-коричневих кристалів амоній гідрогенсульфіду NH_4HS та мають вищу температуру. Ці структури є областями низхідних потоків. Зони та пояси мають різну швидкість руху в напрямку обертання Юпітера. На границях поясів і зон спостерігають сильну турбулентність, яка спричинює утворення численних вихрових структур. Найвідомішою є Велика червона пляма, яка спостерігається на поверхні Юпітера протягом останніх 300 років.

Є гіпотези щодо можливості існування життя у хмарах Юпітера, адже його атмосфера має всі компоненти, які були необхідні для появи життя на Землі. Деякі шари хмар є теплими та відносно комфортними для існування навіть земних мікроорганізмів.

Чотири найбільші супутники: Іо, Європа, Ганімед, Каллісто відкрив ще Галілей за допомогою свого першого телескопа, тому їх називають Галілеєві супутники (мал. 10.14). Іо має найбільшу геологічну активність з усіх тіл Сонячної системи. На Іо зареєстровано 8 постійно активних вулканів, з жерл яких виходять розжарені гази та магма.

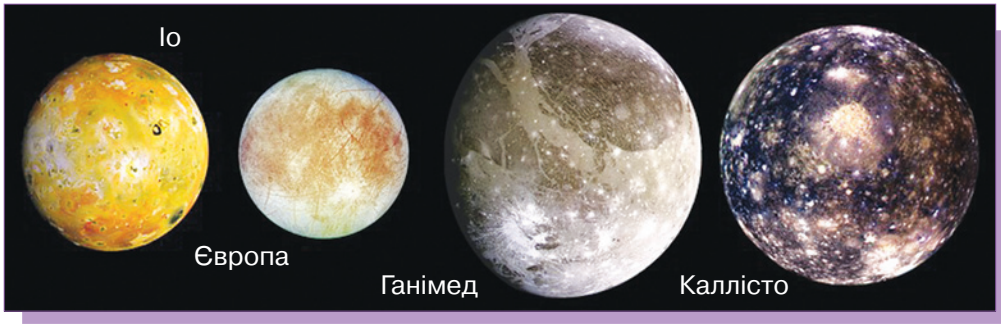
Три інші Галілеєві супутники — Європа, Ганімед та Каллісто — дуже схожі між собою: на їхній поверхні видно багато снігу та льоду. Ганімед



та опубліковані американським аерокосмічним агентством NASA у 2018 р.

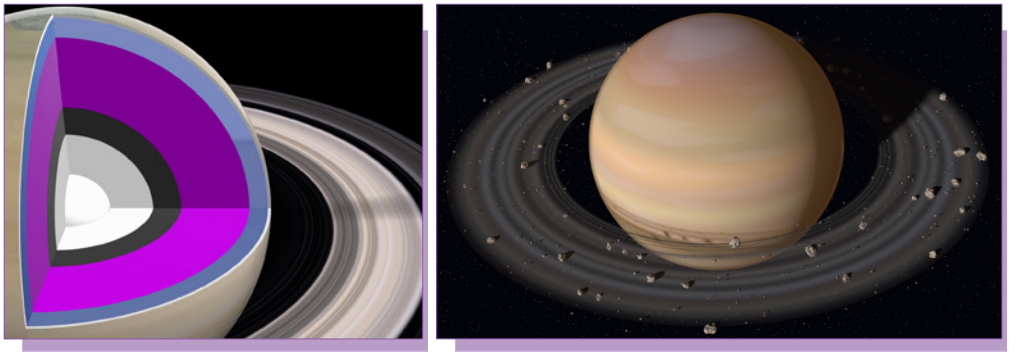
є найбільшим супутником у Сонячній системі, який за розмірами навіть перевершує Меркурій.

У Юпітера до 2011 р. зареєстровано 63 супутники й тьмяні кільця.



Мал. 10.14. Супутники Юпітера

Сатурн — друга за величиною й шоста від Сонця планета Сонячної системи. Ця планета-гігант дуже схожа на Юпітер. Це єдина планета Сонячної системи, чия середня густина менша від густини води. Візитівкою Сатурна є відомі кільця, які видно в телескоп. Вони оперізують планету навколо екватора (мал. 10.15).



Мал. 10.15. Сатурн

Атмосфері Сатурна властиві такі самі ділянки смуг, як і атмосфері Юпітера, однак на Сатурні ці смуги виражені менш яскраво і є значно ширшими поблизу екватора. Жовтуватого кольору верхнім шарам атмосфери Сатурна надають снігові хмари з амоніаку. На глибині 300 км від верхніх шарів розташовані хмари, у яких внаслідок підвищення температури сніг перетворюється на дощ. Більше про цю планету ви дізнаєтеся, проаналізувавши інформацію, наведену в таблиці 10.7.

Таблиця 10.7

Характеристики Сатурна			
Орбітальні характеристики		**Фізичні характеристики**	
Велика піввісь	1 433 449 370 км (9,6 а. о.)	Середній радіус	57 316 км (9,4 $R_{Землі}$)

Продовження таблиці 10.7

Характеристики Сатурна			
Орбітальні характеристики		**Фізичні характеристики**	
Ексцентриситет	0,056	Маса	$5{,}68 \cdot 10^{26}$ кг ($95\ M_{Землі}$)
Орбітальний період	29,46 року	Середня густина	0,69 г/см^3
Період обертання навколо осі	10 год 34 хв 13 с	Прискорення вільного падіння	10,44 м/с^2 (1,07 g)
Середня орбітальна швидкість	9,69 км/с	Температура поверхневих шарів	98 K
Нахил орбіти	2,5° до екліптики	Атмосфера	95,32 % — водень 3,25 % — гелій
Супутники	62	Магнітне поле	трохи слабше за земне

Сатурн теж випромінює в космос більше енергії, ніж отримує від Сонця. Як і Юпітер, має магнітне поле, радіаційні пояси та є джерелом радіовипромінювання.

Сатурн має помітну систему кілець, що складаються здебільшого з частинок криги, меншої кількості важких елементів і пилу. Навколо планети обертається 62 відомі на 2013 р. супутники. Титан — найбільший серед них, це другий за розмірами супутник у Сонячній системі, який перевершує за своїми розмірами Меркурій і має єдину серед супутників Сонячної системи густу атмосферу.

Наразі на орбіті Сатурна перебуває автоматична міжпланетна станція «Кассіні», запущена в 1997 р. Вона дісталася системи Сатурна в 2004 р. Її завданнями, зокрема, є вивчення структури кілець, а також динаміки атмосфери й магнітосфери Сатурна.

Уран. На відміну від інших газових гігантів — Сатурна та Юпітера, що складаються переважно з водню та гелію, у надрах Урана та схожого з ним Нептуна немає металевого водню. Проте в них є багато високотемпературних модифікацій льоду — із цієї причини фахівці виділили ці дві планети в окрему категорію «крижаних гігантів». Більше про цю планету ви дізнаєтеся, проаналізувавши інформацію, наведену в таблиці 10.8.

Таблиця 10.8

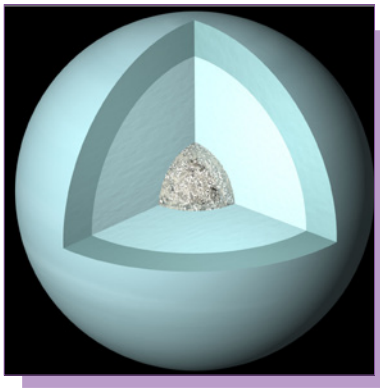
Характеристики Урана			
Орбітальні характеристики		**Фізичні характеристики**	
Велика піввісь	2 876 679 082 км (19,2 а. о.)	Середній радіус	25 266 км ($4\ R_{Землі}$)
Ексцентриситет	0,044	Маса	$8{,}68 \cdot 10^{25}$ кг ($14{,}5\ M_{Землі}$)
Орбітальний період	84,32 року	Середня густина	1,27 г/см^3
Період обертання навколо осі	17 год 14 хв	Прискорення вільного падіння	8,69 м/с^2 (0,89 g)
Середня орбітальна швидкість	6,81 км/с	Температура поверхневих шарів	49 K

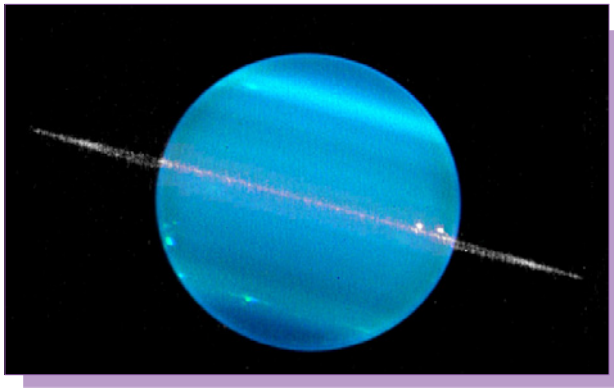
Продовження таблиці 10.8

Характеристики Урана			
Орбітальні характеристики		**Фізичні характеристики**	
Нахил орбіти	0,7° до екліптики	Атмосфера	50 % — молекулярний водень 15 % — гелій 20 % — метан 5 % — амоніак
Супутники	27	Магнітне поле	має чотири полюси (два північних і два південних)

Уран рухається навколо Сонця майже коловою орбітою, його середня відстань від Сонця у 19 разів більша, ніж у Землі. Вісь планети лежить майже в площині орбіти, до того ж Уран, як і Венера, обертається у зворотному напрямку (зі сходу на захід). Уважають, що таке аномальне для Сонячної системи обертання спричинене зіткненням цих планет з великими космічними тілами на ранніх стадіях еволюції.

Такий великий кут нахилу приводить до унікальної в Сонячній системі зміни пір року — полярні кола розташовані майже на екваторі, а тропіки — біля полюсів. Це означає, що Сонце освітлює один з полюсів планети майже 42 земні роки, тоді як на іншому полюсі стільки само триває полярна ніч (мал. 10.16).





Мал. 10.16. Уран

Як й інші планети-гіганти, Уран має кільця. За допомогою телескопів відкрито тільки 5 великих супутників: Аріель, Умбріель, Титанію, Оберон і Міранду, а всі інші вперше сфотографовано в 1986 р. за допомогою космічних апаратів.

Нептун. Уже перші спостереження за Ураном засвідчили, що він рухається не так, як мав би під дією гравітації Сонця та інших відомих планет. Причиною невідповідностей могло бути невідоме масивне небесне тіло. Так відкрили Нептун. Ця подія є дивовижним досягненням небесної механіки — планету відкрито завдяки математичним розрахункам, а не методом регулярних спостережень.

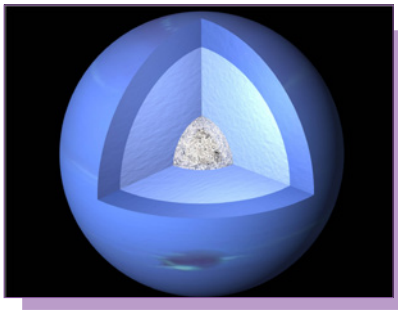
Нептун — четверта за розміром і третя за масою планета. Її орбіта перетинається з орбітою Плутона та з орбітою комети Галлея.

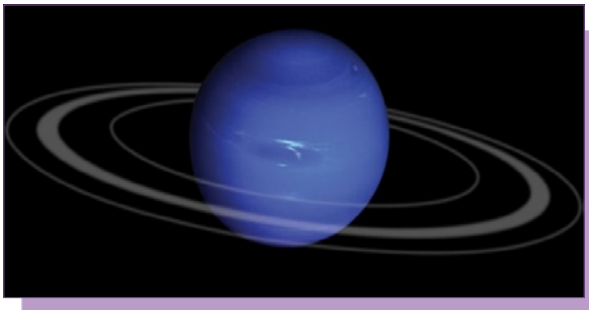
За фізичними властивостями Нептун дуже схожий на Уран. Він теж належить до «крижаних планет». Планета має внутрішнє джерело енергії, бо випромінює в космос тепла майже втричі більше, ніж одержує його від Сонця. Більше про цю планету ви дізнаєтеся, проаналізувавши інформацію, наведену в таблиці 10.9.

Таблиця 10.9

Характеристики Нептуна			
Орбітальні характеристики		**Фізичні характеристики**	
Велика піввісь	4 503 443 661 км (30,06 а. о.)	Середній радіус	24 516 км ($3{,}8\ R_{Землі}$)
Ексцентриситет	0,011	Маса	$1{,}02 \cdot 10^{26}$ кг ($17{,}14\ M_{Землі}$)
Орбітальний період	164,78 року	Середня густина	1,638 г/см^3
Період обертання навколо осі	16 год 6 хв 36 с	Прискорення вільного падіння	11,15 м/с^2 (1,14 g)
Середня орбітальна швидкість	5,43 км/с	Температура поверхневих шарів	72 K
Нахил орбіти	1,8° до екліптики	Атмосфера	67 % — водень 31 % — гелій 2 % — метан
Супутники	14	Магнітне поле	має чотири полюси (два північних і два південних)

Атмосфера Нептуна, подібно до атмосфери Юпітера та Сатурна, складається переважно з водню та гелію. Сліди метану в зовнішніх шарах атмосфери є причиною синього забарвлення планети (мал. 10.17).





Мал. 10.17. Нептун

У Нептуна виявлено 14 супутників та тонкі тьмяні кільця. За допомогою телескопів було відкрито 2 супутники — Тритон та Нереїда, а інші сфотографували в 1989 р. за допомогою космічних апаратів.

Тритон — єдиний великий супутник з-поміж тіл Сонячної системи, який рухається навколо планети в зворотному напрямку порівняно з

обертанням Нептуна навколо осі. Це свідчить, що Тритон, можливо, був колись захоплений гравітаційним полем Нептуна, і він спіралеподібною траєкторією наближається до планети. Коли відстань між Нептуном та Тритоном зменшиться до 65 000 км (межа Роша), припливні сили зруйнують супутник, і навколо Нептуна утвориться величезне кільце, подібне до кілець Сатурна.

ОЧІКУВАНІ Й НЕОЧІКУВАНІ ГОСТІ

До малих тіл належать астероїди, комети й метеороїди. *Астероїди* — тверді кам'янисті тіла, що рухаються, як і планети, еліптичними орбітами навколо Сонця з періодом 3 – 6 років. Як і планети, астероїди у видимому діапазоні спектра світять відбитим сонячним світлом. Діаметри деяких астероїдів удалося виміряти методом покриття зір — коли астероїд під час спостереження опиняється на одній прямій з яскравою зорею. Але здебільшого їхні розміри оцінюють побічно — за блиском, кольором та відстанню.

Астероїдами вважають залишки протопланетного диска, з якого формувалася Сонячна система. Загальна їхня кількість — понад 575 тис., а їхню загальну масу оцінюють у $4{,}2 \cdot 10^{21}$ кг, що становить менше одного відсотка маси Землі. Орбіти більшості відомих астероїдів розташовані між орбітами Марса та Юпітера на відстані 2,2–3,6 а. о. від Сонця. Цю область називають *головним поясом астероїдів*. Поза ним є ще багато малих тіл, наприклад, *астероїди-троянці*. Це дві групи астероїдів, що обертаються навколо Сонця орбітою Юпітера: перша рухається на 60° попереду планети, друга — на 60° позаду неї. Деякі астероїди рухаються сильно витягнутими еліптичними орбітами, що пролягають поблизу Сонця. А орбіти груп Аполлона, Амура й Афіни перетинають орбіту Землі або дуже близько підходять до неї. Порівняти розміри деяких астероїдів, планет та природного супутника Землі ви зможете, проаналізувавши малюнок 10.18.

Найбільші астероїди

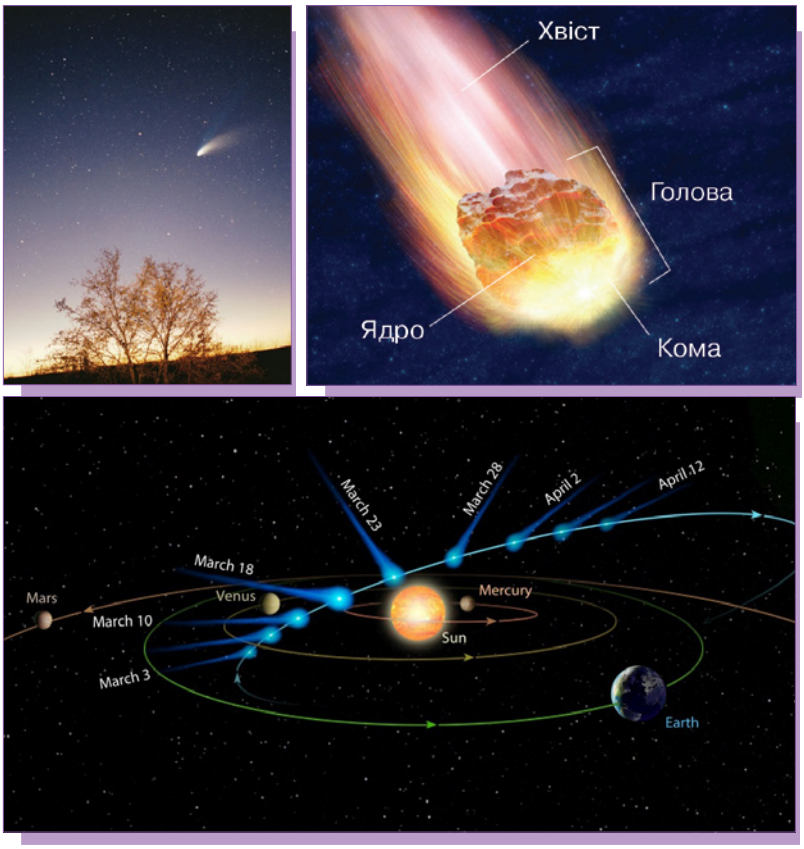
Номер і назва		Діаметр, км
1	Церера	960
2	Паллада	608
3	Веста	555
10	Гігія	450
31	Єфросинія	370
52	Європа	289
65	Кибела	309
451	Паніенція	276
511	Давида	323
704	Інтерамнія	350

Мал. 10.18. Астероїди Церера та Веста порівняно з іншими об'єктами Сонячної системи

Перший астероїд Цереру (яку нині віднесено до розряду карликових планет) відкрито в 1801 р. Інші найвідоміші астероїди — Паллада, Юнона, Веста, Ерос, Амур, Гідальго, Ікар.

З 1992 р. розпочалося відкриття нових об'єктів — астероїдів з поясу Койпера, або планетоїдів («планетоподібних»). Включно з Плутоном пояс Койпера починається за орбітою Нептуна й простягається на відстань до 150 а. о. На початок 2000 р. було відомо близько 120 планетоїдів з розмірами до 400 км. А найбільший з-поміж них, відкритий 1996 р., має розмір близько 800 км, що становить третину діаметра Плутона. За попередніми оцінками, окрім великих планетоїдів, у поясі Койпера перебуває близько 200 млн невеликих тіл розмірами 5–10 км і менше.

Певно, найефектнішими малими тілами Сонячної системи є *комети* (мал. 10.19). Орбіти комет — це еліпси, витягнуті так, що ділянки орбіт, які пролягають усередині Сонячної системи, мають вигляд параболи або гіперболи. Від ступеня витягнутості еліпса залежить і період обертання комети навколо Сонця. Наприклад, комета Енке має період обертання навколо Сонця 3,31 р. Найвідоміша поміж комет — комета Галлея — повертається до Сонця кожні 75,5 р. Її появу в близьких до Сонця околицях зареєстровано вже 30 разів, з них двічі — у XX ст. (у 1910 і 1986 р р.).



Мал. 10.19. Комети

Летіла у небі хвостата ракета,
Ого, який шлейф! Та це справжня комета!
Комета із криги та каменю-пилу
Великий хвостище собі відростила!
Примчала комета до Сонечка-зірки,
Та Сонце закрило розпечену хвіртку.
— Тут гаряче дуже, вертайся назад,
Тебе проведе мій допитливий брат.
Вхопив за хвоста гостю Сонячний Вітер
Й понісся стежками далекого світу.
Розкрию усім таємницю комет —
Прямують від Сонця хвостом наперед.

Наталя Карпенко. Комета

У комет розрізняють голову й характерний хвіст, що виникає, коли комети наближаються до Сонця. Голова комети складається з невеликого льодяного ядра з домішками твердих речовин і газової оболонки навколо нього, що світить відбитим сонячним світлом. Ядра комет зазвичай мають діаметр у кілька кілометрів або в кілька десятків кілометрів, тоді як діаметр світних оболонок (їх називають *комою*) навколо них може сягати діаметра Сонця. Ці світні оболонки виникають під час наближення комети до Сонця. Ядро нагрівається, а його речовина сублімує — переходить з твердого в газоподібний стан. Це відбувається між орбітами Сатурна та Юпітера, однак частіше — у ділянці поясу астероїдів між Юпітером і Марсом. Кометний хвіст формується під тиском світла й сонячного вітру — речовину коми відкидає в протилежний від Сонця бік. Іноді довжина хвоста комети сягає сотень мільйонів кілометрів. Водночас речовина, з якої складається голова (за винятком ядра) і хвіст комети, надзвичайно розріджена.

Багато нового про комети астрономи дізналися завдяки космічним зондам, які досліджували ці тіла з близької відстані. Уперше космічний апарат наблизився до комети в 1985 р. Тоді вдалося виміряти густину речовини в комі та хвості комети Джакобіні — Циннера. Потім за допомогою космічних зондів «Вега-1», «Вега-2» і «Джотто» (Giotto) вивчали комету Галлея (1986), комету Бореллі (2001, Deep Space 1). 4 липня 2005 р. космічний апарат Deep Impact вистрелив у ядро комети Темпель-1 мідним снарядом масою 372 кг, який вибив з поверхні фонтан речовини загальною масою до 10 000 т. З'ясувалося, що комета складається не лише із замерзлої води та пилу (причому пилу було значно більше, ніж води), а ще й з вуглекислого газу, амоніаку й органічних сполук.

Мал. 10.20. Дослідження комет за допомогою космічних зондів:
а — знімок комети Чурюмова — Герасименко, зроблений космічним зондом;
б — Світлана Іванівна Герасименко (нар. 1945, Україна, Таджикистан) та Клим Іванович Чурюмов (1937–2016, Україна), світлина 1975 року

Але найдокладніші результати вдалося отримати завдяки місії «Розетта» до комети Чурюмова — Герасименко (мал. 10.20). У листопаді 2014 р. космічний апарат доправив на поверхню ядра комети спусковий модуль з обладнанням для хімічного аналізу, а сам до кінця вересня 2016 р. був її супутником. Одна із знахідок «Розетти» — молекулярний кисень у газовій оболонці біля ядра комети. До цього кисень було виявлено в космічному просторі лише двічі (у туманностях), бо ця молекула дуже швидко реагує або з воднем з утворенням води, або з вуглецем з утворенням карбон(IV) оксиду.

Окрім астероїдів і комет, у Сонячній системі є велика кількість тіл порівняно невеликого розміру (до 50 м), які називають *метеороїдами*. Вони рухаються в міжпланетному просторі й час від часу проникають в атмосферу Землі. Частинки космічного пилу ніколи не долітають до поверхні Землі, бо вони згорають та випаровуються в атмосфері на висоті кількох десятків кілометрів. Світлове явище, яке спостерігають під час згорання метеороїда в атмосфері Землі, називають *метеором*. Інколи спостерігають незвичайне небесне явище «*зоряний дощ*» (мал. 10.21).

Під співи цикад витанцьовують зорі,
Між зорями бродять дощі-метеори.
Збирають аншлаги серпневі салюти,
От тільки розкатів у небі не чути.
З якої вони прилетіли планети?
Ходили колись під вітрилом комети,
Були астероїдом… Може й зірками…
Тепер салютують над нами дощами.
Які з них крізь небо змогли долетіти
В обійми землі — звуться метеорити.
Нас ковдра небесна від бід захищає,
Та в кожній домівці — усяко буває.
Ті дивні дощі — не політ зоряниці,
Летять камінці з-під коліс колісниці.

Наталя Карпенко. Дощі-метеори

Мал. 10.21. «Зоряний дощ»

Це явище пояснюють тим, що від комети залишаються тверді силікатні пилинки, які продовжують рух орбітою та перетворюються на метеорні потоки. Коли Земля перетинає орбіту такого метеорного потоку, на небі можна побачити тисячі метеорів.

Якщо в атмосферу Землі вривається метеороїд, маса якого становить десятки або сотні грамів, то він породжує явище *боліда*. Яскравий спалах боліда важко не помітити, на коротку мить він може освітити нічний пейзаж, як удень. Інколи болід пролітає небом велику відстань, а потім розпадається зі своєрідним шумом на багато дрібних фрагментів, які згорають, не досягши поверхні. Під час боліда, коли метеороїд летить з надзвуковою швидкістю, в атмосфері виникає ударна хвиля, яка створює потужні звукові коливання (сильний гуркіт). Швидкість, з якою метеороїдне тіло влітає в земну атмосферу, залежить від напрямку його руху й напрямку руху Землі. Найбільшу швидкість входження в атмосферу (50–70 км/с) мають ті метеороїдні тіла, які летять назустріч руху Землі, коли швидкості тіла та Землі додаються.

Метеороїд, що не «згорів» в атмосфері й досяг поверхні Землі, називають *метеоритом*. Щодоби на нашу планету з космосу потрапляє від 5 до 300 тонн космічної речовини. Але порівняно з масою Землі це мізерна величина, яка не відіграє істотної ролі в збільшенні її маси.

Залежно від маси метеороїдного тіла та швидкості, з якою воно входить в атмосферу, унаслідок його падіння може утворитися кратер. Хоча термін «кратер» зазвичай використовують для позначення структури вулканічного походження, в астрономії його застосовують для позначення западин, утворених унаслідок падіння космічних тіл.

На Землі є метеоритні кратери різних розмірів — від кількох метрів до сотень кілометрів у діаметрі. Їх називають *астроблемами*. Якщо порівняти з іншими тілами Сонячної системи, наприклад, з Місяцем або Меркурієм, кратерів на земній поверхні дуже мало. Тих, метеоритне походження яких уважають підтвердженим, є до 200, і лише 128 з них лежать на поверхні відкритими, інші ж приховано водами морів, льодовиками та рослинністю. Причин, чому Земля бідна на кратери, дві: активна атмосфера, що руйнує кратери впродовж геологічного проміжку часу, й активне відновлення ґрунту через вулканічну й тектонічну діяльність.

До найвідоміших земних метеоритних кратерів належить Аризонський кратер діаметром 1200 м. Його відкрили в 1891 р., а утворився він приблизно 50 000 р. тому. Є такі кратери й на території України. Наприклад, Бовтиський кратер у Кіровоградській області — 26 км у діаметрі й 600 м завглибшки віком 65 млн р.; Оболонський кратер в Полтавській області — 20 км у діаметрі й віком майже 170 млн р. або Іллінецька западина у Вінницькій області — 7 км у діаметрі й віком близько 400 млн р.

Численні кратери (астроблеми), є наслідком бомбардування Землі космічними тілами в далекому минулому. Деякі науковці вважають, що масове зникнення динозаврів 65 млн р. тому пов'язане з падінням велетенського метеорита, унаслідок чого на тривалий час змінився клімат і харчовий ланцюг цих тварин. На півострові Юкатан (Мексика) є кратер Чиксулуб. З падінням метеорита, унаслідок якого він утворився, ототожнюють зникнення динозаврів. Дата його утворення збігається з часом зникнення динозаврів наприкінці крейдового періоду. Проте багато палеонтологів уважають, що падіння метеорита, навіть великого розміру, було лише однією з причин цього процесу.

Імовірність того, що астероїд великих розмірів (або комета) зіткнеться із Землею, мала, проте вона є. Ученими змодельований сценарій можливого зіткнення. Розгляньмо його. Астероїд або комета, що летить з космічною швидкістю, влетіла б в земну атмосферу з такою швидкістю, що повітря під нею не розступилося, а стиснулося, наче у велосипедному насосі. Кожен, хто користувався таким насосом, знає, що стиснуте повітря швидко нагрівається, отож температура в місці зіткнення підвищилася б майже до 60 000 °С, що вдесятеро вище за температуру поверхні Сонця. У мить входу космічного тіла в атмосферу все на його шляху — люди, будинки, автомобілі — зморщилося й згоріло б, як целофан у полум'ї.

Через секунду після входження в атмосферу метеорит ударився б у земну поверхню. Сам метеорит умить би випарувався, але вибухом викинуло б тисячу кубічних кілометрів гірських порід, ґрунту та надзвичайно гарячих газів. У радіусі 250 км усе, що не згоріло під час падіння космічного тіла, загинуло б від вибуху. Перша вибухова хвиля, що поширювалася б зі швидкістю, близькою до швидкості світла, змела б усе з поверхні Землі.

Для людей, які б були поза межами зони миттєвого знищення, першою ознакою катастрофи став би спалах сліпучого світла — найяскравіший за все бачене людьми, — а хвилину чи дві потому за ним з'явилося б апокаліптичне видовище неймовірної величі: суцільна стіна темряви, що сягала б небес і мчала зі швидкістю кілька тис. км/год. Її наближення було б страхітливо тихим, оскільки ця темрява насувалася б значно швидше за звук. У межах півтори тисячі кілометрів від місця зіткнення людей позбивало б з ніг або їх би атакували чи шматували хмари предметів, що летіли б. За межами півтори тисячі кілометрів руйнування від вибуху поступово зменшувалося б. Але це лише перша ударна хвиля. Ніхто навіть не може припустити, які руйнування сталися б згодом, відомо лише, що вони були б стрімкими та глобальними. Удар майже напевно викликав би низку спустошливих землетрусів. Вулкани всієї планети почали б гуркотіти та вивергатися. Піднялися б руйнівні цунамі й вирушили до далеких берегів. Протягом години Землю накрила б хмара пітьми, всюди б літали вогняні уламки й більшу частину планети охопив би пекельний вогонь. Припускають, що принаймні півтора мільярди людей загинули б ще до кінця першого дня. Сильні перешкоди в йоносфері вивели б з ладу засоби зв'язку, отож ті, хто вижили б, не знали б, що відбувається в інших місцях і куди їм подітися. Але це навряд би мало значення. Рятуватися втечею означало б вибрати повільну смерть, а не швидку. Від загибелі велику кількість людей не врятували б жодні спроби переселення, адже здатність Землі підтримувати життя катастрофічно зменшилася б. Кількість сажі й попелу, що може піднятися після зіткнення та пожеж, які почалися б згодом, на кілька місяців, а можливо й років, могли б затьмарити Сонце, порушивши цикл рослин. І пам'ятайте, що цілком імовірно, це може статися без попередження, як грім серед ясного неба.

Але припустимо, що ми побачимо наближення такого об'єкта. Що б ми зробили? Усі думають, що запустили б ядерну боєголовку або «космічний десант» сміливців, які б підірвали його. Але реально, ні те, ні інше неможливе: ні боєголовки, ні тим паче космічного корабля, який би міг долетіти з людьми на мільйони кілометрів космічного простору в нас немає.

Це були б дні, упродовж яких люди існували б у страшенній невизначеності. Безумовно, це були б найцікавіші дні в історії людства. Ми навіть не можемо уявити, на які вчинки були б здатні люди в цей час. І уявіть-но масштаби святкування, коли б метеорит пролетів мимо. (Із книги *Біла Брайсона* «Коротка історія майже всього на світі».)

Щоб мінімізувати загрозу катастрофи, яку може спричинити падіння крупного небесного тіла на поверхню планети, нині активно діють системи спостереження за потенційно небезпечними космічними об'єктами. Найвідоміші з таких систем — LINEAR, Space Watch і LONEOS. Розташовані вони на базі великих університетів в Аризоні (США), на Гавайських островах, у штаті Нью-Мексико та в інших місцях. Кілька обсерваторій з телескопами діаметром від одного до чотирьох метрів повсякчас сканують небесну сферу. Причому діють вони в автоматичному режимі, що не потребує участі людини. Знімки за допомогою комп'ютера порівнюють з уже наявними, і якщо в тій чи іншій ділянці виникає нова світна цятка, що зміщується відносно зір, то, радше за все, це і є астероїд. За низкою знімків комп'ютер обчислює його траєкторію та розміри.

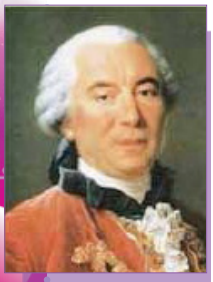
Середня ймовірність зіткнення Землі з космічним об'єктом (наприклад, астероїдом чи кометою), залежно від його діаметра, така: тіло діаметром 1 м — кілька разів на рік; 10 м — раз на 100 років; 100 м — раз на 500 років; 1 км — раз на 10 млн років. Тіло діаметром 5–10 км падає на Землю, імовірно, раз на 25 — 200 млн років, а понад 10 км — раз на 500 млн років. Згідно з нинішніми оцінками, нам відомо про менш ніж 50 % потенційно небезпечних космічних об'єктів від загальної їх кількості.

Значний унесок у дослідження астероїдної небезпеки зробили українські астрономи Києва (В. Кручиненко, К. Чурюмов), Криму (М. Черних) і Харкова (Д. Лупішко)

НАСТАВ ЧАС РОЗКРИТИ ТАЄМНИЦЮ НАРОДЖЕННЯ НАШОЇ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

Людям завжди було цікаво знати, як і коли утворилася Земля, планета на якій вони живуть. На цю тему існує багато наукових гіпотез та простих припущень. Одна з перших гіпотез про походження нашої планети і зовнішнього вигляду її поверхні була описана у двотомній праці Томаса Барнета «Священна теорія Землі», яка побачила світ у 1681 р. Проте мислення вчених у ті далекі часи ще не звільнилося від впливу традиційних уявлень давніх греків та біблейського міфу про створення світу, згідно якого Бог створив Сонце лише на четвертий день після формування Землі. Тому гіпотеза Томаса Барнета є швидше фантазією.

З розвитком природничих наук гіпотези походження Сонячної системи ставали все більш науково обґрунтованими, виходячи із спостережних на той час астрономічних даних, у першу чергу — особливостей руху планет.


Жорж Бюффон

Французький учений Жорж Бюффон (1707 – 1788) у своїй геологічній роботі «Теорія Землі» (1749) висунув гіпотезу утворення земної кулі як уламка, відірваного від Сонця внаслідок падіння на нього комети. Наша планета, будучи часткою Сонця, поступово охолоджується до самого центру.

У 1765 р. німецький філософ Іммануїл Кант (1724 – 1804) видав книгу «Загальна природна історія і теорія неба», у якій виклав свої погляди на походження Всесвіту і планет Сонячної системи. На думку І. Канта, Всесвіт утворився з первинної розсіяної матерії, яка заповнювала світовий простір. Частки, з яких складалася матерія, були неоднакової густини та сили тяжіння, вони були перемішані й утворили нерухомий хаос. Поступово сили взаємного

притягання, що виникли між частинами, привели кам'яний хаос в рух. Результатом зіштовхування і злипання часток було утворення згустків, спочатку дрібних, потім крупніших. Зіштовхування згустків спричинило їхнє обертання. Зрештою з центрального згустку утворилося Сонце, а з великих бокових згущень, які притягнули до себе речовину екваторіальної туманності, — планети. Первинний стан планет і Сонця І. Кант вважав гарячим. З часом планети охололи.

Іммануїл Кант

У 1796 р. світ побачила книга французького математика та астронома П'єра-Симона Лапласа «Виклад системи світу», у якій була опублікована його космогонічна гіпотеза. Вона виявилася багато в чому схожою з гіпотезою Іммануїла Канта, хоча Лаплас не знав про її існування. Він припускав, що колись існувала величезна гаряча розріджена туманність. По мірі її охолодження і стиснення в центрі утворилося згущене ядро — зародок нинішнього Сонця. Внаслідок його обертання навколо осі розвинулася відцентрова сила, яка відштовхнула в екваторіальній площині частину речовини від вісі обертання. Кількість газових кілець, що відділилася від центрального згустку матерії, відповідала кількості планет Сонячної системи. Кільця були нестійкими. Речовина в них під впливом охолодження поступово згущувалася. Подібним чином Лаплас пояснює й утворення супутників планет.

П'єр-Симон Лаплас

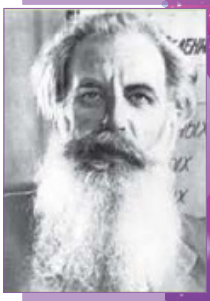
Гіпотези Канта і Лапласа стали свого роду революційним переворотом у поглядах людей на походження оточуючого їх світу. Ці гіпотези вперше дали наукове пояснення утворенню Сонячної системи з газово-пилової матерії і корінним чином змінили метафізичне уявлення щодо вічності й незмінності. В науці їх гіпотеза отримала назву — ***небулярна*** (від лат. Nebula — туман).

Джеймс Гопвуд Джинс

Англійський учений Джеймс Гопвуд Джинс (1877 – 1946) висловив ідею, згідно з якою близько від Сонця пройшла зоря, внаслідок чого від Сонця вирвався газовий струмінь й утворив туманність з окремими згущеннями (вузлами) — протопланетами, що почали обертатися навколо Сонця. Згодом вони перейшли з газоподібного стану в рідкий, утворилася тверда кора. Припливна гіпотеза Джеймса Гопвуда Джинса добре пояснювала особливості розподілу щільності гірських порід внутрішніх планет Сонячної системи, а тому стала на деякий час популярною в науці.

Упродовж XX ст. було запропоновано ще багато теорій, проте жодна зі спроб створити повноцінну теорію не увінчалася успіхом.

Коротко зупинимось на основних ідеях.


Отто Шмідт

Отто Шмідт (1891 – 1956) — ідея про те, що Сонце захопило газово-пилову туманність, яка під тиском сонячного вітру сортувалася: легкі елементи були відкинуті на край Сонячної

системи, а ближче до Сонця утримувалися порівняно важкі елементи. Далі під впливом сил тяжіння куски матерії зіштовхувалися, злипались і планети росли (такий процес називають *акрецією*).

Сафонов Віктор Сергійович (1917 – 1999) розвинув ідею Отто Шмідта динамікою газо-пилового диску, що обертався навколо Сонця.

Хойл Фред

Англійський астроном Хойл Фред (1915 – 2001) висунув ідею, що Сонце було подвійною зорею, й ця друга зоря спалахнула надновою. Викинувши газову хмару залишок зорі покинув сонячну систему.

Камерон Алістер Грем Уолтер (1925 – 2005) американський астроном також стверджував, що вибух наднової зорі неподалік від хмари газу, з якої зароджувалася сонячна система вплинув на процес її формування.

Остаточної відповіді, як відбулося зародження Сонячної системи ще немає. Відповідно до загальноприйнятої теорії спочатку була йонізована газова хмара, з якої під дією електромагнітних сил утворилося Сонце, і на певних відстанях від нього залишилися скупчення цього газу (мал. 10.22).

Камерон Алістер Грем Уолтер

У газопиловому диску на якомусь етапі існування почався процес злипання окремих пилинок. Це привело до утворення спершу невеликих, а потім дедалі більших згустків, які, зіштовхуючись і злипаючись, утворили рій допланетних тіл різного розміру — *планетезималей*. Ці об'єкти стали будівельним матеріалом для планет, а найбільші планетезималі — їхніми «зародками».

Через високу температуру та видування летких елементів у центральній частині диска залишилися важкі тугоплавкі частинки — кам'янисті сполуки, залізо та інші метали. З них сформувалися планети земної групи. А у віддалених від Протосонця зонах, де залишалось багато газів і води, утворилися планети-гіганти та їхні супутники. Причому спочатку, як і в планетах земної групи, у них утворилися ядра з кам'янистих сполук і металів, поверх яких потім нарощувались воднево-гелієві оболонки.

Під час формування планет-гігантів процес випадання речовини (*акреція*) на планети супроводжувався утворенням навколо них газопилових дисків. Із цих дисків утворилися супутники та кільця.

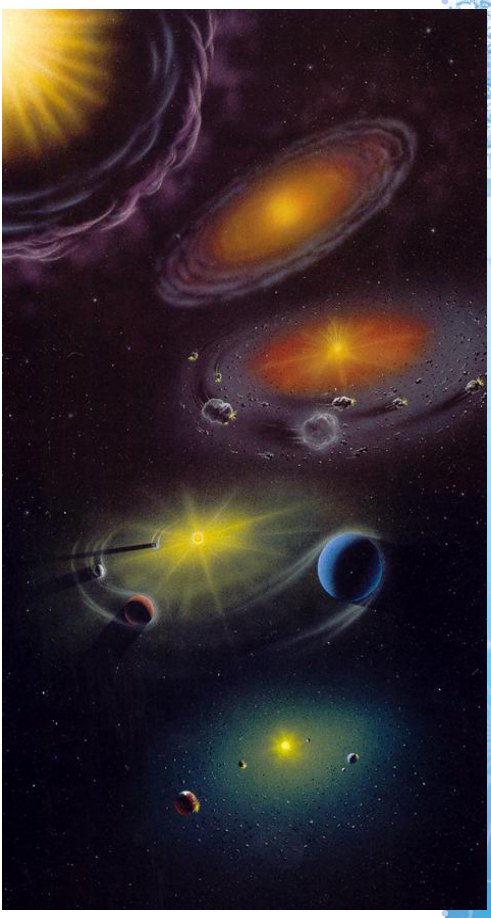
Для пояснення перерозподілу моменту імпульсу між Протосонцем і планетами припускають, що Протосонце мало відчутне магнітне поле. Це поле, взаємодіючи з газом протопланетного диска, гальмувало власне обертання Протосонця і прискорювало обертання протопланетної речовини.

Особливості обертання Венери й Урана можна пояснити тим, що на початку існування Сонячної системи планети пережили зіткнення з дуже масивними планетезималями. Енергії зіткнення виявилось досить для того, щоб Уран «покласти на бік», а у Венери змінити напрямок обертання на протилежний.

Формування планетної системи відбувалося доволі швидко, від 100 млн до 500 млн р. Причому через особливості гравітаційної взаємодії

швидкість формування планет майже не залежала від відстані до Сонця: близька до нього Земля наростила 98 % своєї маси за 10^8 р., а більш віддалені Уран і Нептун — за 10^9 р. Загальний вік нашої планетної сім'ї, визначений за зразками речовини метеоритів і місячного ґрунту, становить близько 4,6 млрд р.

Астероїди внутрішнього поясу та об'єкти поясу Койпера теж утворені з первинної речовини газопилової хмари, що через різні обставини не була увібрана великими планетами під час їхнього формування. Причому тверді кам'янисті тіла поясу астероїдів формувалися за орбітою Марса і їхня густина подібна до густини планет земної групи. А планетоїди поясу Койпера з великим вмістом льодів різного походження формувались у віддаленій зоні Сонячної системи і споріднені з карликовою планетою Плутон.



Мал. 10.22. Етапи утворення Сонячної системи

Відкриття інших планетних систем (***екзопланет***) навколо зір стало новим етапом у розвитку ідей щодо походження Сонячної системи. Астрономи отримали змогу порівнювати системи екзопланет. Але це порівняння виявило суттєві відмінності між Сонячною системою й виявленими екзопланетами біля інших зір. Наприклад, планети-гіганти (такі, як Юпітер) обертаються на дуже близьких відстанях від материнських зір (для порівняння, там, де в Сонячній системі рухаються Венера і Меркурій, а то й ще ближче!). Такі факти нинішня теорія формування Сонячної системи не пояснює. Ще одна проблема — зі спостережень молодих зір виявлено, що протопланетні диски існують не більш як 10 млн р., далі їхня речовина розсіюється. Але формування планет Сонячної системи, згідно з попередніми уявленнями, тривало сотні мільйонів років. Ось лише окремі проблеми, що виникли після відкриття планет біля інших зір.

Нині вивчення питань походження Сонячної системи виходить на новий рівень, бо завдяки новим телескопам і новим космічним місіям багато нового відкрилося про об'єкти Сонячної системи.

У 2005 р. колектив учених у складі Р. Гомеса, Х. Левісона, А. Морбіделлі і К. Циганіса розробили модель Ніцци (Nice model), за назвою міста у Франції, де вони її вперше обговорювали. Ця теорія пояснює утворення поясу Койпера, хмари Оорта та дивні орбіти Урана та Нептуна внаслідок так званої планетної міграції, тобто їх переміщення.

А що буде з нашою планетною системою далі? Згідно із сучасними уявленнями, вона існуватиме практично в такому ж вигляді, як нині, ще принаймні кілька мільярдів років. Її зміни пов'язують з еволюцією Сонця, що на сьогодні прорахувати досить складно. У дуже загальних рисах — на прикінцевій стадії еволюції Сонце перетвориться в червоний гігант, випарує Меркурій і Венеру, а Земля стане непридатною для життя.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Назвіть 2–3 характерні особливості будови Сонячної системи.
2. Чому з поверхні Землі ми бачимо тільки одну півкулю Місяця?
3. Чому поверхня Місяця значно густіше вкрита кратерами, ніж поверхня Землі?
4. Які планети обертаються навколо осі в протилежному порівняно із Землею напрямку?
5. На яких планетах відбувається зміна пір року?
6. Венера розташована далі від Сонця, ніж Меркурій. Однак температура на її поверхні вища, ніж на Меркурії. Поясніть чому.
7. Які особливості планет-гігантів?
8. Чому Юпітер можна вважати дуже схожим на зорю?
9. Від 1970-х автоматичні станції й самохідні апарати неодноразово сідали й успішно працювали на поверхні Венери й Марса. А на Меркурій посадок поки ще не було. Як ви вважаєте, чому?
10. Поясніть, чому на Місяці немає парникового ефекту.
11. Проаналізуйте наведені далі уривки літературних творів та з огляду на вивчене визначте, чи є вони науково коректними:

1) Падает сизый туман на долину, красное солнце зашло вполовину, и показался с другой стороны очерк безжизненно-белой луны. (*М. Некрасов* «Псове полювання»);

2) Ночь побледнела, и месяц садится за реку красным серпом. (*І. Бунін* «Жовтневий світанок»);

3) Письменників, у яких немає почуття гумору, мені шкода. Я їм співчуваю від щирого серця. Вони схожі на Місяць, у якого одна половина вічно в темряві. (*Н. Думбадзе* «З гумором не розлучайтеся!»);

4) «Луна-16», пробуривши свердловину в Морі Достатку — сухому морі на зворотному боці Місяця, — повернулася додому з пробою ґрунту. (*М. Грібачев* «Спонукає до роздумів»);

5) Ночь звенела стременами, волочились повода, и Меркурий плыл над нами — иностранная звезда. (*М. Свєтлов* «У розвідці»);

6) Почало темніти. Ясна, срібна Венера низько на заході вже сяяла з-за берізок... Лєвін вирішив почекати ще, поки видна йому нижче сучка берези Венера перейде вище його. (*Л. Толстой* «Анна Кареніна»);

7) Астрономи стверджують, що навіть на Марсі, цій червоній планеті, укритій розпеченим піском, є мохи та лишайники, є рослинність. (*Ф. Квілічі* «Пригода на шостому континенті»);

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

8) Уночі він завжди виходив з пивної на вулицю, розглядав зоряне небо, а, повернувшися до шинку, переходив від одного до іншого й повідомляв: «Сьогодні прекрасно світить Юпітер. Ти, хаме, навіть не знаєш, що у тебе над головою! Це така відстань, що якби тобою, мерзотнику, зарядити гармату й вистрілити, ти летів би до нього зі швидкістю снаряда мільйони й мільйони років.» (*Я. Гашек* «Пригоди бравого солдата Швейка»);

9) На небі тьмяно світив Чумацький Шлях, яскраво горіли сузір'я, іноді, як сірником по коробку, прокреслюють свій шлях метеорити. (*В. Чівіліхін* «Пам'ять»);

10) Это спутник плывет иль планета — сразу даже и не разглядишь. (*А. Мухтар* «Північ мовчки полоще колосся»);

11) Пішли далі. Вже Висожари (тобто Стожари) опускатися стали, до ранку недалеко. (*Л. Толстой* «Кавказький бранець»);

12) Над їхніми головами в синій безодні тягнувся всипаний золотим пилом Чумацький Шлях. Яскраво мерехтіли Близнюки, прямо над головою Діва несла воду на коромислі, а попереду відзначався Хрест. (*П. Панч* «Гомоніла Україна»);

13) Месяца свет электрический в море дрожит, извивается; силе подвластно магической море кипит и вздымается. (*В. Брюсов* «Місяця світло електричне»);

14) Август — месяц ливней звёздных! (*М. Цвєтаєва* «Серпень — айстри»);

15) Косматая звезда, спешащая в никуда из страшного ниоткуда. (*М. Цвєтаєва* «Комета»);

16) По яйцевидному пути летит могучая комета. О чем хлопочет пляской света? Что нужно в мире ей найти? Она встает уж много лет, свой путь уклончивый проводит, из неизвестного приходит, и вновь ее надолго нет. Как слабый лик туманных звезд, она вначале появленья — всего лишь дымное виденье, в ней нет ядра, чуть тлеет хвост. Но ближе к Солнцу — и не та. Уж лик горит, уж свет не дробен, и миллионы верст способен тянуться грозный след хвоста. Густеет яркое ядро, и уменьшается орбита. Комета светится сердито. Сплошной пожар — ее нутро. (*К. Бальмонт* «Комета»);

17) Мне всё открыто в этом мире — и ночи тень, и солнца свет, и в торжествующем эфире мерцанье ласковых планет. (*М. Гумільов* «Credo»);

18) На далекой звезде Венере Солнце пламенней и золотистей. На Венере, ах, на Венере на деревьях синие листья. (*М. Гумільов* «На далекій зорі Венері»);

19) Никнуть, бліднуть ночі тіні, полотніє темний фльор — в величезному падінні, весь в огні, в самогорінні ріже небо метеор. То таємний дух творіння, провозвісник вищих сил палом власного горіння, жахом вільного падіння будить сонний небосхил. В темно-синьому просторі бризки-іскорки летять. А в небеснім вічнім хорі нерухомі ясні зорі блиском жаху миготять. (*Грицько Чупринка* «Метеор»).

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

1. Спостереження сузір'їв та пошук планет та зір (за допомогою Google SkyMap і/або аналогічних програм).

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2. Складання порівняльної таблиці

Параметри	Планети							
	Меркурій	Венера	Земля	Марс	Юпітер	Сатурн	Уран	Нептун
Тривалість доби (період обертання навколо вісі)								
Кут нахилу площини екватора до площини екліптики								
Тривалість року (період обертання навколо Сонця)								
Відстань від Сонця в а.о.								
Маса, відносно Землі								
Діаметр, км								
Густина, г/см^3								
Кількість супутників								
Атмосфера								
Магнітне поле								
Прискорення вільного падіння, м/с^2								
Температура, К								

ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Космогонія Сонячної системи
- Рекорди «най» в Сонячній системі
- Для чого Ілону Маску Марс?
- Астероїдна атака: як уникнути зіткнення?
- Хвостаті гості

Б. 11. ДОСЛІДЖЕННЯ КОСМОСУ

Світовий простір навколо Землі називають космос. Земляни всіх поколінь завжди спостерігали за космічними явищами з неабиякою цікавістю й тривогою. А що там далі? Чи є ще десь істоти, схожі на нас? Чого чекати від космосу — добра чи зла? Лише в 60-х роках XX ст. людина вперше подолала земне тяжіння й зробила перші кроки в космосі

ВИ НАВЧИТЕСЯ

Знати про досягнення людства в освоєнні космосу; значення антропного принципу у Всесвіті.

Обґрунтувати причини появи життя на нашій планеті та можливість існування позаземного життя у Всесвіті.

Висловлювати судження щодо міжнародних наукових проектів з пошуку життя у Всесвіті.

Оцінювати унікальність Землі та Всесвіту

КОСМІЧНІ ПЕРЕГОНИ

Чому люди не літають? Люди бігають, плавають, стрибають, але літати не можуть. Чому? Це питання турбувало людство з часів його перших спроб дослідження світу. Чимало було намагань здійснити політ людини (мал. 11.1).

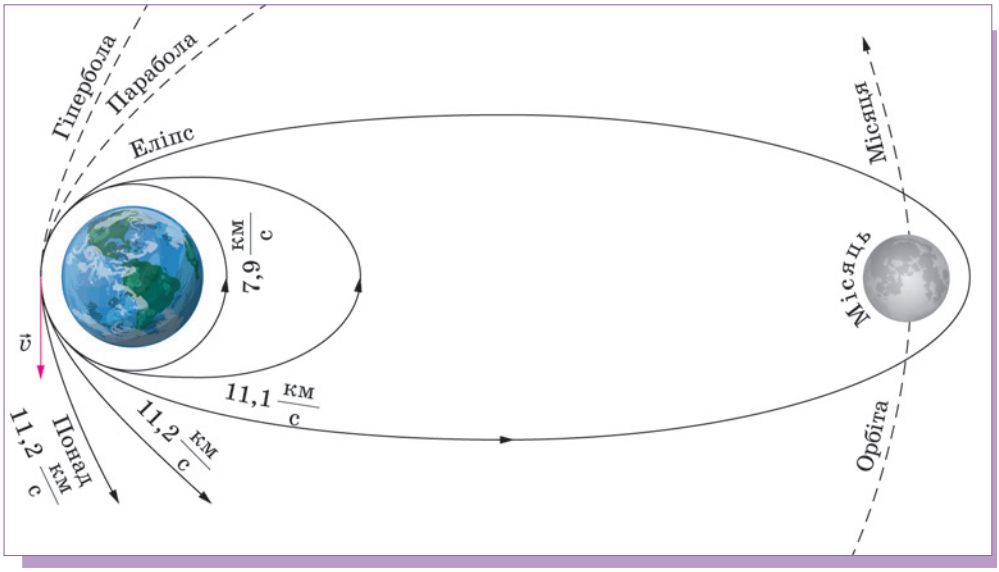
Мал. 11. 1. Дивлюсь я на небо та й думку гадаю: чому я не сокіл, чому не літаю, чому мені, Боже, ти крилець не дав? Я б землю покинув і в небо злітав. *Михайло Петренко*

І лише в XX ст. людині вдалося не лише піднятися в небо, а й «вище неба» — у космічний простір.

І на Землі, і в космосі діє той самий закон всесвітнього тяжіння. Якщо добре знаєш фізику, то не важко розрахувати: якщо тіло кинути зі швидкістю 7,9 км/с, то воно підніметься на відстань, де не буде повітря, а отже й опору рухові, і кружлятиме навколо Землі. Якщо тіло кинути зі швидкістю 11,1 км/с, то воно рухатиметься вже навколо Землі й Місяця. А якщо зі швидкістю 11,2 км/с, або більшою, то воно вже взагалі не повернеться до Землі — блукатиме Сонячною системою (мал. 11.2).

Нічого складного? Теоретично, так. А ось практично... Порівняймо. Швидкість автомобіля на гарному шосе не перевищує 50 м/с. Швидкість літака 250 м/с. А нам потрібно рухатися зі швидкістю 8000 м/с! Летіти в тридцять з гаком разів швидше за літак! Щоб мчати з такою швидкістю, потрібно подолати опір повітря. Для виходу в космос і розгону в ньому придатна тільки *ракета*. Ракета не має ні крил, ні пропелерів. Вона може в польоті ні на що не спиратися. Для розгону їй не потрібно ні від чого відштовхуватися. Вона може рухатися й у повітрі, і в космосі. У повітрі повільніше, у космосі швидше. Вона рухається реактивним способом унаслідок відкидання частини власної маси.

Велику роль у дослідженні руху в космічному просторі за допомогою ракет відіграв учений Костянтин Едуардович Ціолковський (1857 – 1935, Росія), який першим запропонував узагальнену формулу для визначення швидкості руху ракети («формула ракети»), ідею багатоступінчатих ракет тощо.



Мал. 11.2. Космічна швидкість, атом, рок-н-рол — щось незбагненне звихрило епоху. *Іван Гнатюк*

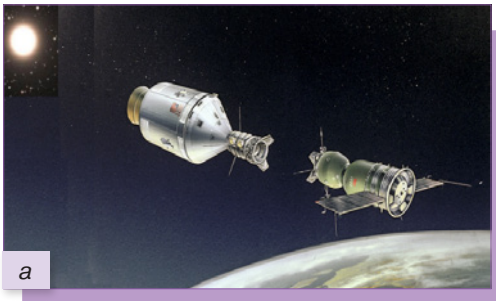
Наш співвітчизник Юрій Васильович Кондратюк (справжнє ім'я Олександр Гнатович Шаргей, 1897 – 1943), незалежно від Ціолковського, іншими методами вивів рівняння руху ракети, що стало підтвердженням об'єктивного характеру розвитку вчення про реактивні пристрої, запропонував власну модель багатоступінчатої ракети. В історію світової астронавтики увійшла й «зоряна траса» Кондратюка — схема гравітаційного маневру для польоту на інші тіла нашої планетної системи. Цю схему було вдало використано американськими астронавтами під час польоту на Місяць.

Але конструювання ракети видалося не легкою справою. Перші у світі ракети, що були використані для подолання сили земного тяжіння й виведення на орбіту Землі першого штучного супутника та польоту першого космонавта, розробляли під керівництвом нашого співвітчизника Сергія Павловича Корольова (1907 – 1966). Найважливішими конструкторським досягненням Корольова є: перша у світі міжконтинентальна балістична ракета Р-7, перший удалий пуск якої відбувся 27 серпня 1957 р.; виведення на орбіту першого в історії штучного супутника Землі 4 жовтня 1957 р.; перший космічний політ Юрія Гагаріна на кораблі «Восток» 12 квітня 1961 р.; виведення на орбіту першого багатомісного корабля серії «Восход» з екіпажем на борту 12 жовтня 1964 р. Під його керівництвом створено перші космічні апарати серій «Луна», «Венера», «Марс», «Зонд», деякі супутники серії «Космос», а також проект космічного корабля «Союз».

Одні з перших рідинних реактивних двигунів були розроблені під керівництвом ще одного нашого співвітчизника — академіка Валентина Петровича Глушка (1908 – 1989). Реактивні двигуни його конструкції забезпечували надійну роботу космічних апаратів.

Із запуском «Супутника-1» розпочалося суперництво між СРСР та США в галузі освоєння космосу — космічні перегони. Занепокоєний різким проривом Радянського Союзу американський уряд ужив низку серйозних заходів для ліквідації відставання. І розпочали, як ви думаєте з чого? З освіти! У 1958 р. в США було прийнято «Закон про освіту», згідно з яким різко збільшено фінансування освіти в стратегічно важливих галузях науки, таких як математика та фізика!

Закінченням перегонів стала спільна радянсько-американська програма «Союз»-«Аполлон» у 1975 р. Космічні апарати провели орбітальну стиковку, що дало змогу космонавтам «країн-суперниць» відвідати кораблі один одного та взяти участь у спільних експериментах. Один з таких експериментів — штучне сонячне затемнення. У наперед визначений момент кораблі розстикувалися, розійшлися на деяку відстань і розмістилися на одній лінії із Сонцем так, що «Аполлон» перекрив сліпучий диск денного світила. Це дало змогу з борту «Союзу-19» за допомогою спеціальної автоматичної фотокамери зробити серію світлин штучного затемнення Сонця (мал. 11.3).



Мал. 11.3. *а* — Я — «СОЮЗ»! Я — «АПОЛЛОН»!
б — Штучне затемнення Сонця

Освоєння космосу стало надзвичайно важливим стимулом для розвитку цілого ряду напрямів і сфер сучасної науки й техніки, які так само вплинули на розвиток медицини, досліджень резервних можливостей людини, радіотехніки, телебачення тощо. Багато «космічних» розробок того часу пізніше почали застосовувати й у побуті. Їжа швидкого приготування, технології пакування та пастеризації харчових продуктів і багато інших речей мають своїм витоком технології, розроблені для застосування в космосі.

ПРО СОНЯЧНУ СИСТЕМУ ІЗ ЗЕМЛІ Й КОСМОСУ

Та й саму Землю з космосу можна дослідити ефективніше, ніж на Землі. Так у 1999 р. запущено американський супутник Terra, на якому встановлено японські та канадські прилади для дослідження клімату й довкілля. За даними приладу для вимірювання висоти точок рельєфу поверхні Землі укладено найдетальнішу на сьогодні топографічну мапу Землі.

Натепер діють різні наукові проекти в галузі космічного моніторингу Землі, які дають змогу всебічно вивчати нашу планету як єдину інтегро-

вану систему. Кожен супутник виконує одне із завдань з вивчення хімічного складу атмосфери, динаміки й енергетики атмосфери, хмарного покриву, водного й енергетичного балансу, динаміки, фізико-хімічних та енергетичних властивостей океану, глобального біохімічного циклу, біологічних ресурсів, гравітаційного поля, а також у галузі геодезії, геології, картографії.

Ще більше програм з дослідження об'єктів Сонячної системи: планет, їхніх супутників, астероїдів, комет. Завдяки космонавтиці астрономія дістала змогу не лише виводити на орбіту Землі телескопи й обсерваторії, а й відправляти до тіл Сонячної системи автоматичні міжпланетні станції (АМС). Це суттєво розширило можливості астрономів у вивченні таких об'єктів, бо їх тепер можна не лише спостерігати з близької відстані, а й виконувати експерименти на їхніх поверхнях чи в атмосферах. Розглянуті в попередній темі відомості про Сонячну систему — результат досліджень, здійснених як із земних, так і з космічних обсерваторій.

За останні десятиліття не зменшується стійкий інтерес до досліджень Сонячної системи.

Ми не описуватимемо детально всі минулі й теперішні відкриття та місії з вивчення Сонячної системи. Для цього ви проведете урок-конференцію, на якій кожен з вас зможе вибрати ту чи ту місію, той чи той об'єкт і докладніше розповісти про те, які саме дослідження було проведено. Для цього вам потрібно скористатися інформаційними ресурсами, що популяризують астрономічні знання.

Земляни ближче знайомляться із Сонячною системою, яка набуває чіткої визначеності й конкретики. Фактично нині ми відкриваємо для себе довкілля нашої планети, приблизно так, як триста років тому, у часи великих географічних мандрівок наші попередники відкрили для себе (і для нас!) Землю. Нам пощастило жити в період великого астрономічного дослідження Сонячної системи!

Сучасні дослідження планет Сонячної системи надають велику кількість нових наукових фактів, які дають змогу глибше зрозуміти те, як сформувалася Сонячна система, яке майбутнє очікує на неї. Збагнути, чи є можливості в людини найближчим часом створити космічні бази на Місяці чи на Марсі. Та чи можливо видобувати на Місяці й транспортувати на Землю рідкісні ізотопи, які можуть бути паливом для термоядерної енергетики.

І головне питання, що відвічно турбує людей: чи є життя на інших планетах? Поки у Сонячній системі його не виявлено. Але надія є. Якщо не на Марсі, то можливо в океані Європи — супутнику Юпітера, чи на поверхні Титана — супутника Сатурна. Нині для дослідження цих тіл Сонячної системи з метою пошуку на них ознак життя готують спеціальні космічні місії.

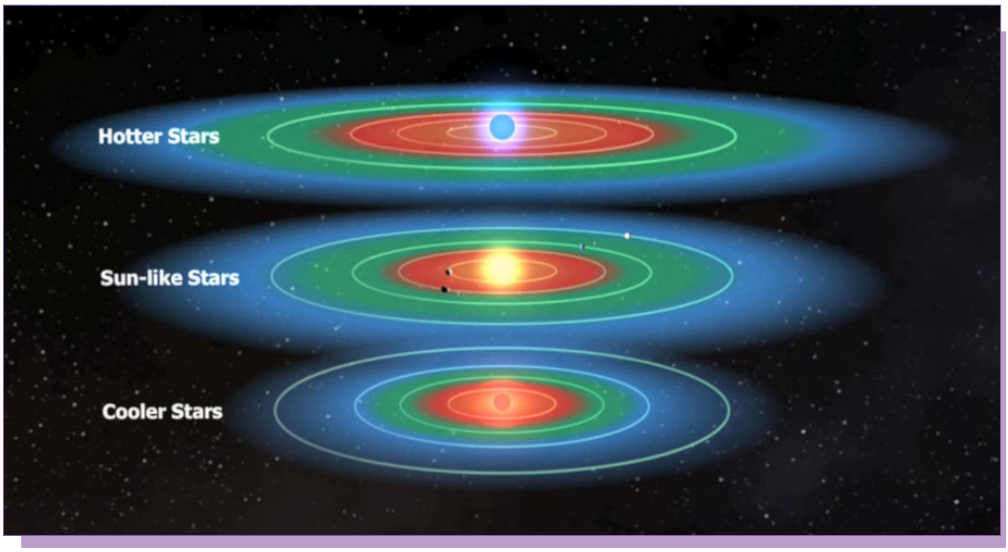
ЧИ ЄДИНІ МИ У ВСЕСВІТІ?

Життя є однією з великих таємниць Всесвіту. Ми бачимо на Землі різноманітні живі організми, але нічого не знаємо про інші форми життя на планетах навколо далеких зір — *екзопланетах*.

Астрономічні спостереження показують, що параметри орбіти Землі, її маса, радіус та хімічний склад найсприятливіші для існування життя. Для цього також потрібне стабільне Сонце, яке протягом кількох мільярдів років майже не змінювало своєї світності. Навіть розширення Всесвіту теж сприяє існуванню життя, бо у фазі стиснення смертельне короткохвильове фонове випромінювання могло б знищити все живе. Виникає таке враження, що все суще в космосі існує для того, щоб на Землі жили розумні люди. Так була сформульована філософська основа космології — *антропний принцип* (від гр. *антропос* — людина): «Ми спостерігаємо Всесвіт таким, яким ми його бачимо, бо ми є». Тобто, може десь у космосі є світи з іншими параметрами, що забезпечують життя інших істот, які не схожі на нас.

Для виникнення життя, подібного до земного, необхідний складний комплекс умов.

- Значний інтервал часу. Життя може виникнути тільки навколо старих зір, причому не першого, а другого покоління, оскільки лише поряд з ними можуть бути залишки важких елементів, що залишилися після вибухів наднових зір першого покоління.
- На планеті мають бути відповідні температурні умови, адже занадто висока або занадто низька температури виключають появу життя (мал. 11.4).



Мал. 11.4. Вчені визначили «зони придатності до життя» для різних типів зір (зверху до-низу): великі (гарячі) зорі, сонцеподібні, менші (прохолодніші) зорі. Джерело: NASA

- Маса планети не має бути дуже малою. Адже в цьому випадку планета швидко втрачає свою атмосферу. Що легший газ, то швидше він виходить за межі планети. З іншого боку, маса планети не має бути дуже великою, щоб не утримувати свою первісну атмосферу (з водню і гелію), не перешкоджати зміні її складу та появі вторинної атмосфери.
- Рідка оболонка на її поверхні. Адже первинні форми життя, радше за все, виникли у воді.

- На планеті мають бути умови для виникнення складних молекулярних сполук, на основі яких можуть відбуватися різноманітні хімічні процеси.
- Захисне магнітне поле.
- Певна швидкість обертання навколо осі та навколо своєї зорі.

У результаті врахування цих та інших умов виявлено, що лише у 1–2% усіх зір у Галактиці можуть мати планетні системи з явищами життя. Тож за оптимальними оцінками близько 1 млрд зір можуть мати екзопланети, на яких в принципі можливе життя, подібне до земного.

Під час дослідження екзопланет учені вирішили «виявити ознаки життя» на Землі з космосу за допомогою міжпланетного зонда «Венера-Експрес». Погодьтеся, цікава ідея. Адже таке дослідження дає змогу впевнитися в тому, що методи, які ми плануємо застосувати для пошуку життя на екзопланетах, працюють. На бортових камерах «Венера-Експрес» зображення Землі має діаметр менше одного пікселя, тобто для космічного зонда наша планета є просто крапкою, деталей на якій розрізнити вже неможливо. З огляду на ці спостереження астрономи мали зробити висновок про те, чи є життя на Землі (що рівноцінно відповіді на запитання: «Чи «працюють» методи, які зазвичай використовують для аналогічних досліджень інших планет?»). Результат виявився неоднозначним. Хоча спектрометр VIRTIS чітко показав, що в земній атмосфері є два найважливіші для життя компоненти — вода та кисень, цього виявилося замало. Наприклад, у Венери є й те, і те. Однак життя там немає.

Питання життя за межами Землі має два суттєві складники:

- пошук ознак життя як такого;
- реєстрування сигналів від позаземних цивілізацій або відправлення в космос повідомлень від землян у надії, що хтось їх зареєструє, розшифрує, а потім надішле відповідь (мал. 11.5).

Мал. 11.5. Пошук інопланетян

Ці стратегії науковці та ентузіасти пошуку позаземного життя реалізують у рамках наукових програм SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence, пошук позаземного розуму) та METI (Messaging to Extra-Terrestrial Intelligence, послання позаземним цивілізаціям). Програма SETI розв’язує суто наукове завдання реєстрації сигналу, його декодування й виділення з нього осмисленої інформації. Тобто науковий пошук

відбувається так само, як пошук нових природних явищ. Одна лише відмінність — результатом пошуку має стати не якесь закономірне явище природи, а осмислене повідомлення, надіслане розумними істотами. Завдання програми METI суттєво інше — скласти послання, яке будь-яка розвинена розумна істота не ототожнить з природним явищем, а прийме його як послання від іншої розумної істоти.

Необхідність таких досліджень визначено тим, що відкриття позаземних цивілізацій і встановлення контакту з ними можуть мати величезний уплив на науковий та технологічний потенціал суспільства, позитивно вплинути на майбутнє людства.

З 1999 р. пошук сигналів з космосу може виконувати кожен власник персонального комп'ютера. Для цього потрібно приєднатися до проекту SETI@ home, започаткованого астрономами Каліфорнійського університету.

Перше радіопослання (мал. 11.6, *а*) землян до позаземних цивілізацій було відправлене 1974 р. за допомогою 300-метрової антени радіотелескопа обсерваторії Аресибо (Пуерто-Ріко). Сигнал спрямували в бік кулястого скупчення M13, що лежить на відстані 7670 пк (25 тис. св. р.) від Землі. Закодований сигнал містить базові відомості про людину, Землю та Сонячну систему. У Космос, але вже до зір, що лежать на відстані понад 10 пк (кількох десятків св. р.), спрямовували сигнали (вони містили малюнки, світлини, фрагменти музичних творів тощо) ще кілька разів (мал. 11.6, *б*). Для цієї мети використовували 70-метровий радіотелескоп, розміщений поблизу м. Феодосія в Криму.

Мал. 11.6. *а* — послання Аресибо, *б* — «золоті диски» із посланнями від землян

Але всі намагання знайти сигнал від позаземних цивілізацій досі не досягли успіху. Інопланетяни не запеленгували сигнали із Землі. З початком радіо- та телетрансляцій Земля випромінює в космос радіосигнали, які легко може зареєструвати розвинена цивілізація, що перебуває на відстані до 30 пк (100 св. р.) від нашої планети.

Космос мовчить. Знайти пояснення цьому факту не вдається. Гіпотез є багато, та жодна з них досі не стала теорією. Усе це є надто дивним з огляду на відкриття в Галактиці екзопланет земного типу, що перебувають у зонах життя своїх материнських зір, виявлення органічних молекул складної будови в газопилових хмарах та організмів на Землі там, де, як уважали, вони взагалі не можуть жити: у дуже кислому середовищі, в окропі, у товщі антарктичного льоду тощо. Зазначені факти вказують на те, що тільки в нашій галактиці мають існувати мільярди потенційно населених планет. Щоправда життя на Землі еволюціонувало від простих форм до розумних істот кілька мільярдів років. Можливо, цей термін є закономірним для життя загалом, і тому більшість планет у Галактиці, де можливе життя бодай земного типу, населені простими формами?

Ми досі не знаємо, як виникло життя на Землі й чи існує воно у Всесвіті, а надто його розумні види. Та це не означає, що пошук позаземного життя потрібно припинити. Адже такі інтелектуальні потуги приносять користь і для розв'язування наших суто земних проблем, зокрема збереження життя на планеті.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Які українські конструктори працювали в космічній галузі? Який їхній внесок в освоєння людством космосу?
2. Коли почалися і чим завершилися «космічні перегони»?
3. Чим зумовлені відносно стабільні кліматичні умови протягом тривалого періоду існування Землі?
4. У чому суть антропного принципу?
5. Поясніть суть терміна «зона життя».
6. Поясніть відмінність між програмами SETI і METI.
7. «Якби на Глізе 832c[1] було розумне життя, ми б його вже почули» — зауважував співзасновник проекту з пошуку позаземних цивілізацій Breaktrhough Listen британський фізик-теоретик Стівен Гокінг — «Та одного разу земляни отримають сигнал зі схожої планети, і нам не варто поспішати з відповіддю. Зустріч із розвиненою цивілізацією буде схожа на зустріч Христофора Колумба з корінними американцями, яка для останніх закінчилася не дуже добре», — сказав Гокінг. Чи поділяєте ви його думку? Чому?
8. Прочитайте та проаналізуйте твір Валентина Чемериса «Феномен Фенікса». Визначте, що з нього вам було вже відомо після опрацювання цього та попередніх модулів, а що стало для вас відкриттям.
9. Прочитайте та проаналізуйте поезії:

Пісенька про космічного гостя

Достигають яблука ранети.
Рання осінь листя золотить.
Гарний хлопець з іншої планети,
може, завтра в гості залетить.

[1] Екзопланета Глізе 832c (Gliese 832c) в сузір'ї Журавля в п'ять разів масивніша за Землю, але схожа з нею за іншими характеристиками.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

Діло звичне — міжпланетні мандри.
Усміхнеться, зніме свій шолом.
Скаже: — Там, в сузір'ї Саламандри,
твій коханий бив тобі чолом.

Я спитаю: — Є у вас поети?
Як по-марсіанськи — макогін?
Знаєш, там туманність Андромеди,
хай не йде так часто на обгін.

Він посидить, трохи відпочине,
цей мій дивний, нетутешній гість.
Планетарно синіми очима
про безмежний космос розповість.

Прийдуть люди з ним погомоніти,
хлібом-сіллю я їх пригощу.
Передам йому для Береніки
білі айстри в крапельках дощу.

Перевірю техніку в ракеті,
розкажу, як звуться журавлі.
Хай посіє в себе на планеті
жменьку слів із нашої землі.

Апарат космічний загуркоче,
пропливе смарагдовий кортеж...
— Добре, я коли-небудь заскочу.
Ти в якій галактиці живеш?

Ліна Костенко

Зоряні хвилі

Зоряні хвилі хлюпають в небі;
Місяць в сузір'ях, як човен, пливе,
Ось він піднявсь на безмежності гребінь,
Хтось мене звідти зове і зове.

Чую той поклик призивний і владний,
Хочу озватись — далеко сягать,
Часто вночі я стою безпорадний,
Знаку від себе не можу подать.

Хто мене кличе з космічного моря?
Може, поети, що в зорях живуть,
З місяця-човна до мене говорять,
Щоб вирушав я у зоряну путь.

ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

Не космонавтом, а просто поетом,
Зоряний промінь — то буде мій шлях.
Всі перепливши і Стікси, і Лети,
В мандри піду по космічних морях.

Здалеку також до зір буду звати
Тих, що родились братами комет, —
Хтось не засне, уночі вийде з хати,
Хтось буде справжній поет!

Іван Коваленко

Розкажіть (усно чи письмово) про асоціації з повсякденним життям та змістом опрацьованого модуля, які виникли у вас під час прочитання цих поетичних творів.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Історія освоєння космосу
- Альбом пісень на космічну тематику
- Космонавти і астронавти світу
- Штучні супутники Землі
- Можливість життя на інших планетах