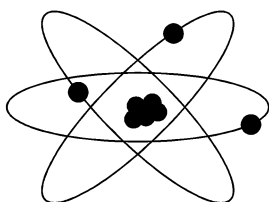


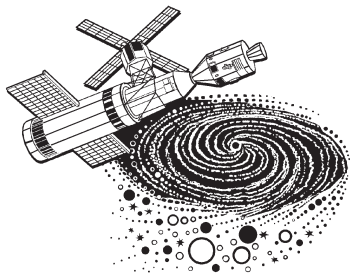
ВИДАТНІ НАУКОВІ ВІДКРИТТЯ

Для дітей середнього шкільного віку

**НАЙТОЧНІША НАУКА
ВЕЛИКА ЕКСПЕРИМЕНТАТОРКА
НЕОСЯЖНИЙ СВІТ**

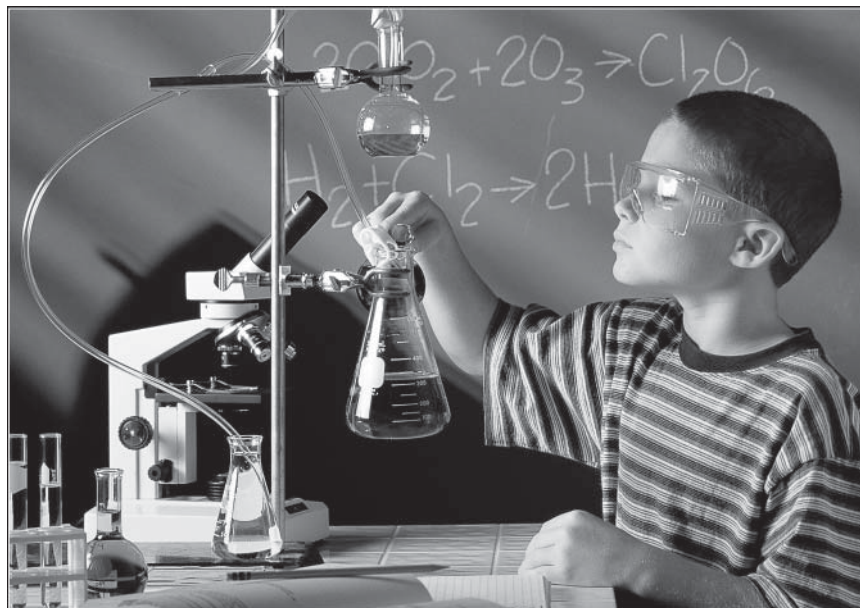


**КОРОЛЕВА ПЕРЕТВОРЕНЬ
НАУКА ПРО ЖИТТЯ
ГІПОТЕЗИ І ВІДКРИТТЯ
НАУКА ПРО ЗЕМЛЮ**



Вступ

Науки виникають не самі по собі. Вони з'являються внаслідок необхідності вирішення тих чи інших проблем, що постають у процесі розвитку людства. Наука чимдалі більше впливає на життя людей. Сьогодні науково-технічний прогрес торкнувся практично всього людського буття. Нашим сучасникам часом іноді важко уявити, як саме відбулося відокремлення науки із загального процесу пізнання людством навколишньої природи, опису й констатації певних явищ. Формулювання закономірностей існування різних природних явищ, їхній розвиток, створення численних теорій і гіпотез — процес багатовіковий. Тисячі геніальних учених присвятили своє життя тому, щоб розкрити всі загадки навколишнього світу й підняти цивілізацію на су-



часний рівень. І цей процес триває, наші знання розширюються і поглиблюються.

Але в усіх галузях науки існують відкриття, які докорінно змінили уявлення людства про причини тих чи інших явищ. Пізнання природи — справа не тільки занурених у свою науку одинаків. Успіхи в науці завжди значною мірою залежали і від діяльності великих груп маловідомих або навіть зовсім забутих дослідників. Ніхто вже не згадає, хто винайшов колесо або хто першим помітив, що ковкість металів залежить від нагріву. Це ж було так давно. Проте історія зберегла й тисячі імен першовідкривачів. Лише для того, щоб бодай хоч коротко перелічити всіх дослідників і їхні відкриття, потрібен був би не один том. Однак автори цієї енциклопедії і не прагнули охопити все. З усіх наук перевага була віддана природничим наукам, на яких базуються закони світобудови.

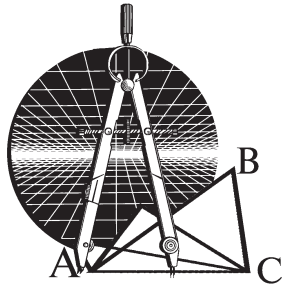
Так, читач зможе довідатися про наукові відкриття в таких природничих науках, як математика, фізика й астрономія, хімія, біологія й медицина, геологія. Щоб ознайомитися з відкриттями у інших галузях науки, ви можете звернутися до енциклопедій, що вже вийшли у видавництві «Фоліо», — «Підводний світ», «Географічні відкриття», «Історія речей», «Інформатика» тощо.

Колись Архімед урочисто вигукнув: «Еврика!», у такий спосіб сповістивши світу про своє велике відкриття. Звичайно, можна по-різному виявляти емоції в подібних випадках, але, поза всяким сумнівом, незаперечним є одне: протягом століть у людства було чимало підстав для такого вигуку. І кожен новий день — це нові наукові гіпотези й досягнення. І можливо, комусь із вас, юні друзі, пощастить додати нові рядки у вічну книгу про наукові відкриття.

I

НАЙТОЧНІША НАУКА





Математика — це наука про кількісні співвідношення і просторові форми існуючого світу. Назва цієї галузі знань походить від грецького слова «матейн» — вчитися, пізнавати. Давні греки взагалі вважали математику («математіке») і науку («матема») синонімами. Але існує ще й інше, простіше пояснення слова «математика»: грецькою «матема» означало ще й врожай, збір врожаю. Зібравши врожай, греки мали оцінити результати своєї праці, а для цього треба було насамперед навчитися рахувати. Найпростішою частиною давньої математики є арифметика, що грецькою означає «мистецтво лічби». І нині, навіть у цивілізованих країнах, люди можуть прожити, не вмючи ані читати, ані писати, але уміння рахувати, або хоча б тільки складати, потрібне обов'язково.

Математику зазвичай відносять до точних, а не природничих наук. Вона є найважливішим інструментом багатьох галузей знань, адже будь-яка з природничих наук починається зі спостережень та збирання фактів. Математика допомагає упорядкувати розрізнені факти. Однак сама вона не є частиною природи.

Започаткувавши розвиток з понять про числа і найпростіші геометричні уявлення, сьогодні математика глибоко проникла в усі галузі науки, техніки і в усе наше життя. Без неї неможливо уявити існування фізики й механіки, хімії та економіки і навіть біології та медицини. Математика оперує аксіомами, формулами, теоремами, на яких базуються інші науки. Вона є однією із найголовніших наук.

З глибини далеких тисячоліть

Люди почали рахувати задовго до того, як з'явилася писемність. Математичні знання використовувалися в далекому минулому для розв'язання повсякденних задач, і тому саме практика значною мірою керувала всім подальшим розвитком математики. Датський фізик Нільс Бор казав, що саме математика є чи-

До періоду 30 тисяч років до нашої ери історики відносять перший документ, який свідчив про знайомство наших предків із зародками лічби. Це так звана «вестоніцька кістка» з зарубками. У V—IV тисячолітті до нашої ери набув розвитку вимір затоплених площин, що свідчило про зародження геометрії. У шумерських клинописних табличках (III тис. до н. е.) почала застосовуватися десятково-шістдесяткова система числення. Водночас числова символіка поширилася в Єгипті і являла собою десяткову систему. Месопотамські математики вже приблизно вираховували число $\pi \approx 3,125$. Вавилоняни склали таблиці обернених чисел (які використовувалися при виконанні ділення), таблиці квадратів і квадратних коренів, а також таблиці кубів і кубічних коренів. Вони також користувалися квадратичною формулою для розв'язання квадратних рівнянь і могли розв'язувати деякі спеціальні типи задач, які включали до десяти рівнянь із десятима невідомими, а також окремі різновиди кубічних рівнянь і рівнянь четвертого степеня!

рук і ніг. Наскельний малюнок, що зберігся до наших часів від кам'яного віку, зображує число 35 у вигляді серії вишикуваних у ряд 35 паличок-пальців. Першими істотними успіхами в арифметиці стали концептуалізація числа й винахід чотирьох основних дій: додавання, віднімання, множення й ділення. Перші досягнення геометрії пов'язані з такими простими поняттями, як пряма й коло. Подальший розвиток математики почався приблизно в 3000 році до нашої ери завдяки вавилонянам і єгиптянам.

Близько 700 року до нашої ери вавилоняни почали застосовувати математику для дослідження руху Місяця й планет. Це дало їм змогу завбачувати розташування планет, що було важливо як для астрології, так і для астрономії. У геометрії вавилоняни знали про такі співвідношення, як, наприклад, пропорційність відповідних сторін подібних трикутників. Їм була відома теорема Піфагора й те, що кут, уписаний у півколо, є прямим, а також правила обчислення площ простих плоских фігур, у тому числі правильних багатокутників і об'ємів простих тіл.

Хоч майя, які жили в Центральній Америці, і не мали впливу на розвиток математики, проте їхні досягнення, що належать приблизно до IV століття до нашої ери, заслуговують на увагу.

мось значно більшим, ніж просто наука, бо вона є мовою науки. І справді, математика стала для багатьох галузей знань не тільки знаряддям кількісного обрахунку, але ще й методом точного дослідження та засобом чіткого формулювання понять і проблем.

Найдавнішою математичною діяльністю була лічба. Вона була необхідною, щоб стежити за поголів'ям худоби й вести торгівлю. Деякі первісні племена підраховували кількість предметів, зіставляючи різні частини свого тіла, головним чином пальці

Аксиома — вихідне положення, яке приймається без логічних доведень, як незаперечне.

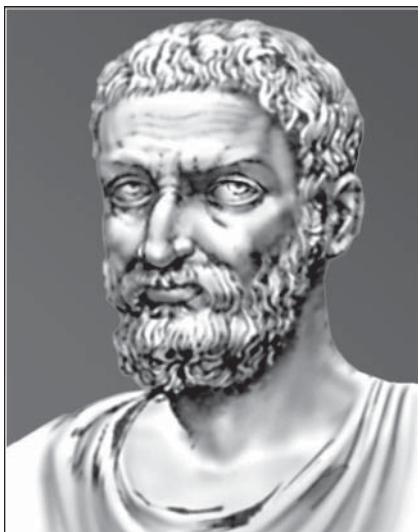
нуля у своїй двадцятковій системі. У них були дві системи числення: в одній застосовувалися ієрогліфи, а в другій, більш поширеній, крапка позначала одиницю, горизонтальна риска — число 5, а символ ока — нуль.

Але з точки зору XX століття родоначальниками математики були греки класичного періоду (VI—IV ст. до н. е.). Екстраординарним кроком стало твердження греків про те, що висновків можна дійти шляхом дедуктивного доведення. Жодна інша цивілізація не дійшла до ідеї одержувати їх винятково на основі дедуктивних міркувань, що виходять із сформульованих аксіом.

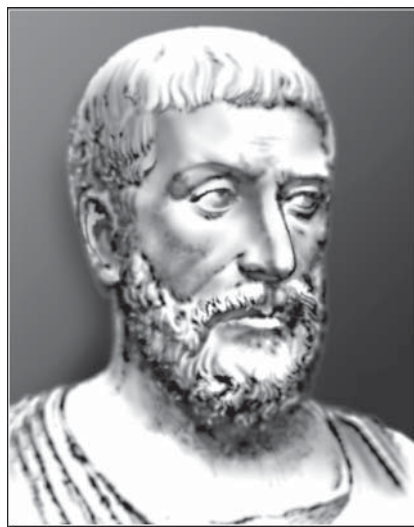
Дедуктивний характер грецької математики повністю сформувався в час Платона й Арістотеля. Відкриття дедуктивної математики приписують Фалесу Мілетському (бл. 640—546 рр. до н. е.), що, як і багато давньогрецьких математиків класичного періоду, був ще й філософом. Висловлювалося припущення, що Фалес використовував дедукцію для доведення деяких результатів у геометрії, хоча це сумнівно. Йому також належить одна з найдавніших теорем з геометрії: «Якщо паралельні прямі, що перетинають сторони кута, відтинають на одній його стороні рівні відрізки, то вони відтинають рівні відрізки і на іншій його стороні».

Іншим великим греком був Піфагор (бл. 585—500 рр. до н. е.). Важко знайти людину, у якої ім'я Піфагора не асоціювалося б із однойменною теоремою. Усі, хто у шкільні роки вивчав математику, пам'ятають, що квадрат довжини гіпотенузи прямокутного трикутника дорівнює сумі квадратів довжин його катетів. Причина такої популярності теореми Піфагора зрозуміла: це її простота, краса і значущість. Справді, теорема Піфагора проста, але не очевидна. Вона має величезне значення і застосовується в геометрії на кожному кроці. Існує близько п'ятисот різних

Майя, очевидно, першими використовували спеціальний символ для позначення



Фалес Мілетський



Піфагор

таємницям чисел, медицині й іншим обов'язковим для того часу наукам. Побував Піфагор і у Фінікії, де, за переказами, переймав науку у відомих сідонських жерців.

Відповідно до стародавніх легенд, у вавилонському полоні Піфагор зустрічався з перськими магами, прилучився до східної астрології й містики, познайомився із вченням халдейських мудреців. Халдеї познайомили Піфагора зі знаннями, накопиченими східними народами протягом багатьох століть: астрономією й астрологією, медициною й арифметикою. Дванадцять років Піфагор перебував у полоні, поки його не звільнив перський цар Дарій Гістасп, що почув про уславленого грека. Піфагору на той час уже виповнилося шістдесят років. Він вирішив повернутися на батьківщину, щоб прилучити до накопичених знань свій народ, створивши у Кротоні власну філософську школу.

У школі Піфагора вперше було висловлено здогад про кулястість Землі. Слід також зауважити, що вчений уявляв Землю кулею, що обертається навколо Сонця. Коли у XVI столітті церква почала переслідувати вчення Коперника, його ще вперто називали піфагорійським.

Цікаво, що теорема Піфагора була відома ще на початку II тисячоліття до нашої ери в давньому Вавилоні. Одна з клинописних табличок містила 15 чисел, що відповідали цій теоремі. І в Китаї в XI столітті до нашої ери вже використовували «трикутник Піфагора» зі сторонами 3, 4 та 5.

доведень цієї теореми, що свідчить про гігантську кількість її конкретних реалізацій.

Майбутній великий математик і філософ Піфагор уже в дитинстві виявив неабиякі здібності до наук. У свого першого вчителя Гермодамаса він здобув знання з основ музики, живопису та літератури, а ще той прищепив юному Піфагору любов до природи і її таємниць. На острові Лесбос відбулося знайомство Піфагора з філософом Перекідом, який більш відомий як Фалес Мілетський. У нього Піфагор навчався астрології, віщуванню затемнень,

Багато чого зробив учений і в геометрії. Саме у школі Піфагора геометрія вперше оформилася в самостійну наукову дисципліну. Піфагор

Відкриття теореми Піфагором оточено ореолом красивих легенд. Прокл, коментуючи книгу Евкліда «Начала», пише: «Якщо послухати тих, хто любить повторювати давні легенди, то слід сказати, що ця теорема бере свій початок від Піфагора; розповідають, що він на честь цього відкриття приніс у жертву бика». Згодом один бик перетворився на сотню. Втім, у це важко повірити, бо ще Цицерон казав, що будь-яке пролиття крові було ворожим уставу Піфагорійського ордена, але ця легенда міцно зрослася із теоремою Піфагора й через дві тисячі років ще й досі тривають палкі відгуки на неї.

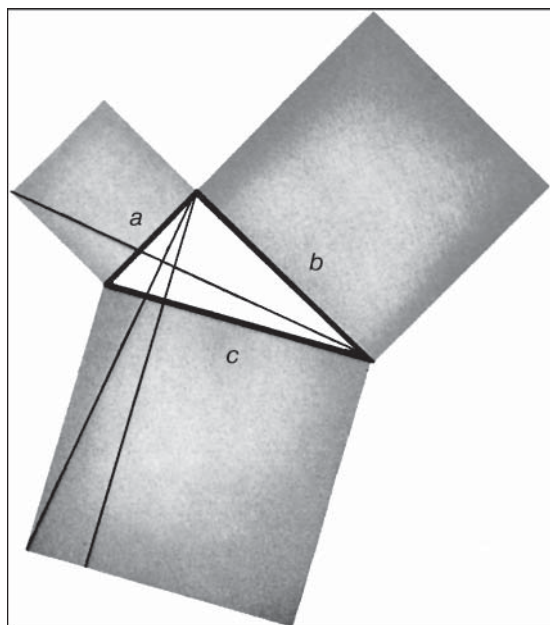
насамперед, у геометрію. Власне кажучи, тільки із цього моменту математика й починає існувати як наука. З народженням же математики зароджується й наука взагалі, бо «жодне людське дослідження не може називатися справжньою наукою, якщо воно не пройшло через математичні доведення», як казав Леонардо да Вінчі.

Отже, заслуга Піфагора й полягала в тому, що він, очевидно, першим прийшов до такої думки: геометрія, по-перше, повинна розглядати абстрактні ідеальні об'єкти і, по-друге, властивості цих ідеальних об'єктів мають встановлюватися не за допомогою вимірів з обмеженою кількістю об'єктів, а за допомогою міркувань, справедливих для нескінченної кількості об'єктів. Цей ланцюжок міркувань, що за допомогою законів логіки зводить неочевидні твердження до відомих або очевидних істин, і є математичним доведенням.

Піфагор заснував школу, розквіт якої

та його учні першими стали вивчати геометрію системно — як теоретичне вчення про властивості абстрактних геометричних фігур, а не як збірник прикладних ілюстрацій в галузі до землеробства.

Найважливішою науковою заслугою Піфагора вважається те, що він системно ввів доведення в математику і,



Графічне зображення теореми Піфагора

Коли Піфагор зробив необхідні обчислення своєї теореми, він одержав дивний результат: співвідношення діагоналі квадрата до його сторони не може дорівнювати ніякому дробу! Піфагор був вражений. Виходить, навіть серед ідеальних тіл геометрії не існує повної гармонії! Він вирішив, що цей факт слід приховати від невігласів до тих пір, поки знавці до кінця збагнуть гармонію математичного світу! Так і було зроблено. Тому вчення Піфагора не відбилось ні в якій книзі, а передавалося з вуст у уста — з суворою заборонаю говорити відверто з чужинцями.

слово «калькуляція» (розрахунок, обчислення) бере початок від грецького слова, що означає «камінчик». Числа 3, 6, 9 і т. д. піфагорійці називали трикутними, бо відповідну кількість камінчиків можна розташувати у вигляді трикутника, числа 4, 8, 16 і т. д. — квадратними, оскільки відповідну кількість камінчиків можна розташувати у вигляді квадрата, тощо.

Із простих геометричних конфігурацій виникали певні властивості цілих чисел. Наприклад, піфагорійці відкрили, що сума двох послідовних трикутних чисел завжди дорівнює певному квадратному числу. Вони відкрили, що якщо (у сучасних позначеннях) n^2 — квадратне число, то $n^2 + 2n + 1 = (n + 1)^2$. Число, рівне сумі всіх своїх власних дільників, крім самого цього числа, піфагорійці називали досконалим числом. Прикладами досконалих чисел можуть бути такі цілі числа, як 6, 28 і 496. Два числа піфагорійці називали дружніми, якщо кожне із чисел дорівнює сумі дільників іншого; наприклад, 220 і 284 — дружні числа (і тут саме число виключається із власних дільників).

Стародавні греки розв'язували рівняння з невідомими за допомогою геометричних побудов. Були розроблені спеціальні побудови для виконання додавання, віднімання, множення й поділу відрізків, добування квадратного кореня із довжин відрізків; нині цей метод називається геометричною алгеброю.

Приведення задач до геометричного вигляду мало ряд важливих наслідків. Зокрема, числа стали розглядатися окремо від геометрії, оскільки працювати з несумірними співвідношеннями можна було тільки за допомогою геометричних методів. Геометрія стала основою майже всієї строгої математики принаймні до 1600 року. І навіть в XVIII столітті, коли вже були досить розвинені алгебра й математичний аналіз, строга математика трактувалася як геометрія, і слово «геометр» було рівнозначне слову «математик».

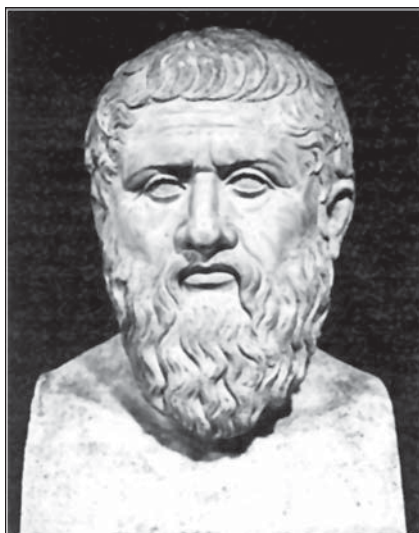
припадає на період близько 550—300 років до нашої ери. Піфагорійці створили чисту математику у формі теорії чисел і геометрії. Цілі числа вони подавали у вигляді конфігурацій із крапок або камінчиків, класифікуючи ці числа відповідно до форми фігур («фігурні числа»), що виникали. До речі,

Саме піфагорійцям ми багато в чому завдячуємо тією математикою, що потім була систематизовано викладена й доведена в «Началах» Евкліда. Є підстави думати, що саме вони відкрили те, що нині відомо як теореми про трикутники, паралельні прямі, багатокутники, кола, сфери і правильні багатогранники.

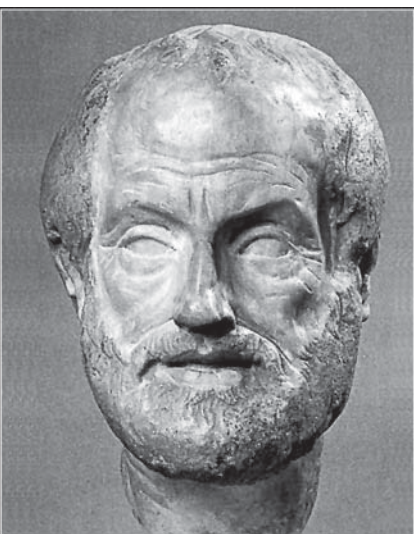
Одним із найвидатніших піфагорійців став Арістокл (бл. 427—347 рр. до н. е.), який був учнем Сократа і дістав прізвисько Широкоплечий, тобто Платон, під яким і ввійшов в історію. Платон був переконаний, що фізичний світ можна збагнути лише за допомогою математики. Вважають, що саме йому належить заслуга винаходу аналітичного методу доведення. (Аналітичний метод починається із твердження, яке потрібно довести, і потім з нього послідовно виводяться наслідки доти, доки не буде доведене якесь незаперечне твердження.) Гадають, що послідовники Платона винайшли метод доведення, який дістав назву «доведення від зворотного».

У 387 році до нашої ери Платон заснував Академію — перший загальнодоступний університет Європи, що діяв понад вісім століть — до 529 року нашої ери. Свою назву ця школа дістала від імені давнього героя Академа. Йому був присвячений гай, у якому прогулювалися учні Платона, ведучи нескінченні диспути про все на світі. Вимога до учасників цих диспутів була одна: добре знання геометрії. Хто її засвоїв — той зможе осягти все, що йому заманеться, бо геометрія править усім світом! При цьому сам Платон, здається, не зробив великих відкриттів у математиці: основні теореми геометрії були вже відомі, а диспути вирували навколо їхнього осмислення. Так, вони дискутували над ідеєю Зенона, що шляхом послідовного поділу навпіл можна як завгодно точно встановити довжину будь-якого відрізка — навіть діагоналі квадрата, що непорівнянна з його стороною. Цікаво: чи можна таким шляхом довідатися точну довжину кола й площу круга?

З цією задачею учні Платона не впоралися. Вони не змогли побудувати циркулем і лінійкою ні відрізок із довжиною, що дорівнював би довжині даного кола, ні квадрат із пло-



Платон



Арістотель

цією, який би дорівнював площі даного кола. Так проблема «квадратури кола» ввійшла до класичних задач давнього світу — поряд з подвоєнням куба й трисекцією кута.

У середині IV століття до нашої ери нащадки Платона піднялися на вершину класичної геометрії, водночас досягнувши меж цієї науки. Після цього школа Платона розділилася. Одні вихованці Академії взялися поряdkувати в уже освоєному світі планіметрії й стереометрії; інші намагалися вийти за його межі за допомогою нових методів роботи.

Помітне місце в історії математики посідає Арістотель із Стагіри (384—322 рр. до н. е.) — найупертіший і найнеслухняніший з учнів Платона. Після смерті вчителя він заснував в Афінах свою школу — Лікей. Пізніше Арістотель виїхав у Македонію, де став учителем царевича Александра — майбутнього завойовника Еллади й східних країн. Арістотель вважав, що головні відкриття в геометрії вже зроблені. Настав час переносити її методи в інші науки:



Євдокс

фізику й зоологію, ботаніку й політику. Але найважливіше знаряддя геометрії — це логічний метод міркувань, що веде до вірних висновків з будь-яких вірних передумов. Цей метод Арістотель виклав у книзі «Органон»; нині її називають початком математичної логіки. Арістотель заклав основи науки логіки й висловив низку ідей щодо визначень, аксіом, нескінченності й можливості геометричних побудов.

Найбільшим із грецьких математиків класичного періоду, що поступалися за значущістю отриманих результатів тільки

Нині здається дивним, що Євдокс не розвинув теорію чисел у більш простому напрямку. Адже він фактично відкрив числовий промінь. Чому він не відкрив числову пряму, ввівши нуль і від'ємні числа? Напевно, Євдокс потрапив у полон до вигаданого ним самим визначення: числа суть довжини відрізків. Що таке відрізок довжини (-2) ? Чим він відрізняється від відрізка довжини 2 ? На таке питання у Євдокса не було відповіді. Інша річ, коли б від'ємні числа вже були б задіяні математиками Еллади. Наприклад, таке число може позначати борг купця — якщо позитивне число зображує його майно. Тоді майно жебрака доведеться зобразити нулем! Таке «купецьке» подання про числа склалося десь на Близькому Сході через п'ять-шість століть після відкриття Євдокса...

дедуктивну структуру математики на основі чітко сформульованих аксіом. Йому ж належить і перший крок у створенні математичного аналізу, оскільки саме він винайшов метод обчислення площ і об'ємів, що дістав назву «методу вичерпування». Цей метод полягає в побудові вписаних і описаних пласких фігур або просторових тіл, які заповнюють («вичерпують») площу або об'єм тієї фігури чи того тіла, що є предметом дослідження. Євдоксу ж належить і перша астрономічна теорія, яка пояснює рух планет. Запропонована Євдоксом теорія була суто математичною; вона показувала, яким чином комбінації обертових сфер з різними радіусами й вісями обертання можуть пояснити нерегулярні рухи Сонця, Місяця й планет.

Близько 300 року до нашої ери досвід багатьох грецьких математиків був зведений в одне ціле Евклідом, що написав математичний шедевр «Начала». З деяких інтуїтивно відібраних аксіом Евклід вивів близько 500 теорем, що охопили всі найважливіші результати класичного періоду. Свій твір Евклід почав з визначення таких термінів, як пряма, кут і коло. Потім він сформулював десять самоочевидних істин, таких як «ціле більше кожної із частин». І із цих десяти аксіом Евклід зміг вивести всі теореми. Для математиків текст евклідових «Начал» тривалий час був зразком чіткості. Знаменита книга «Начал» є першою й найкращою енциклопедією елементарної математики. Двадцять століть геометрію вивчали саме за цією книгою, перш ніж у неї з'явилися

Архімедові, був Євдокс (бл. 408—355 pp. до н. е.). Саме він увів поняття величини для таких об'єктів, як відрізки прямих і кути. Маючи у своєму розпорядженні поняття величини, Євдокс логічно строго обґрунтував піфагорійський метод дій з ірраціональними числами. В галузях математики він перевершив навіть Піфагора, створивши першу теорію ірраціональних чисел.

Праці Євдокса дали змогу встановити



Евклід

гідні суперниці — праці Гаусса і Лобачевського, Больяя й Ріманна. Та все одно геометрія, що її вивчають у школі, називається іменем видатного вченого — евклідовою.

Цікаво, що Евклід у своїй енциклопедії описав лише дві різні лінії — пряму та коло. Але в його епоху вже були відомі еліпс, парабола й гіпербола. Сам Евклід вивчав ці криві, навіть написав про них окрему книгу (яка не збереглася, але стала основою для подібної книги Аполлонія). Чому він жодим словом не згадав про нові криві в «Началах»? Мабуть, тому, що Евклід і його

сучасники не знали про ці лінії всього, що їм хотілося знати. Наприклад, як обчислити площу, обмежену еліпсом або параболою? Як провести дотичну до еліпса або гіперболи в даній точці? Це зумів зробити тільки Архімед — через піввіку після Евкліда. Автор «Начал» цього не зумів — і вирішив за краще промовчати про складні криві, щоб не бентежити уми новачків-геометрів необґрунтованими міркуваннями. Напевно, Евклід мав рацію: так само роблять автори сучасних підручників.

Інакше стояла справа з арифметикою: тут Евклід сам був першовідкривачем. Але прикро те, що в еллінів не було вдалої системи позначень навіть для натуральних чисел. Замість цифр греки користувалися буквами; позиційної системи для запису більших чисел вони не знали. Тому навіть звичайна (для нас) таблиця множення мала в Елладі вигляд досить грубого сувою. А працювати із числами, коли вони зображені буквами, дуже непросто! Цим займається особлива наука — алгебра; сучасники Евкліда про неї не підозрювали.

В арифметиці Евклід зробив три значних відкриття.

- По-перше, він сформулював (без доведення) теорему про ділення з залишком.
- По-друге, він створив «алгоритм Евкліда» — швидкий спосіб знаходження найбільшого загального дільника чисел або загальної міри відрізків (якщо вони порівнянні).
- По-третє, Евклід перший почав вивчати властивості простих чисел і довів, що їхня множина нескінченна.

Одна з легенд розповідає, що цар Птолемей вирішив вивчити геометрію. Але з'ясувалося, що зробити це не так просто. Тоді він покликав Евкліда й попросив визначити йому легкий шлях до математики. «До геометрії немає царської дороги», — відповів йому вчений. Так у вигляді легенди дійшов до нас цей крилатий вислів.

аксіом, Евклід увів постулати — це твердження про властивості основних геометричних конструкцій. Наприклад: «Через дві точки проходить лише одна пряма», або «Через точку поза прямою на площині проходить лише одна пряма, що не перетинає цю пряму». Це останнє твердження про паралельність прямих на площині називають п'ятим постулатом Евкліда.

Кульмінацією розвитку грецької геометрії стала основна праця Аполлонія (бл. 262—200 рр. до н. е.), яка була витримана в дусі класичних традицій. Він запропонував аналіз конічних перетинів — кола, еліпса, параболи й гіперболи. Аполлоній також став засновником кількісної математичної астрономії.

Спадкоємці Евкліда

У звичній геометрії елліни просунулися помітно далі Евкліда. Третє століття до нашої ери уславилося іменами Арістарха й Архімеда, Ератосфена й Аполлонія. Всі вони були скоріше універсалами, ніж суто математиками. Арістарха (бл. 310—230 рр. до н. е.) вважають астрономом, оскільки він перший обґрунтував гіпотезу про те, що всі планети обертаються навколо Сонця. Але міркування Арістарха — це вже стереометрія. Цей учений припустив, що Сонце може мати інший розмір, ніж Місяць! Так у давній задачі з'явилася нова невідома величина. Щоб упоратися з нею, потрібно було винайти ще одне рівняння, а для цього — застосувати новий метод спостереження за небом.

Арістарх зробив це, міркуючи просто й красиво, вирахувавши всього один кут у величезному трикутнику Земля—Місяць—Сонце. Він дійшов висновку, що місячний діаметр утворює менший від земного, а діаметр Сонця в сім разів більший за діаметр Землі. З цих грубих розрахунків учений зробив головний вірний висновок: Сонце більше Землі, і тому Земля обертається навколо Сонця! На цю тему Арістарх написав твір «Про розміри й відстані Сонця й Місяця». Так астрономія одержала, нарешті, від геометрії вірну модель Сонячної системи. На жаль, модель Арістарха виявилася занадто грубою для астрономічних розрахунків. Тому більшість

Загальні властивості фігур, які багаторазово використовуються в міркуваннях і не виводяться зі складніших тверджень, Евклід називав аксіомами. Наприклад: «Всі прямі кути рівні між собою». Крім

Учні Ератосфена дали йому прізвисько «Бета» — за назвою другої букви алфавіту, оскільки він був «другим фахівцем» у дуже багатьох галузях. «Альфою» у математиці був його найкращий друг і ровесник — Архімед із Сіракуз, а в геометрії став другим після Евкліда.

простих чисел, так зване «сито Ератосфена», і помітив, що багато простих чисел групуються в пари близнюків: такими є числа 11 і 13, 29 і 31, 41 і 43. Евклід довів, що кількість усіх простих чисел нескінченна, замислився, чи вірно те ж саме для чисел-близнюків? З цією задачею він не впорався. Але він не здогадувався, що таємниця чисел-близнюків не буде відкрита навіть через 22 століття! У наші дні «проблема близнюків» залишається єдиною нерозв'язаною задачею, що дісталася нам від античності, і невідомо, чи впораються з нею математики XXI століття.

У стереометрії (тобто у математичній астрономії й географії) Ератосфену поталанило більше. Він склав карту неба з 675 зірками та карту відомих на той час областей Землі: від Британії до Цейлону, від Балтики й Каспію до Ефіопії. Залишалося вирахувати розмір земної кулі і її положення відносно Сонця — тобто, кут нахилу земної осі до тієї площини, у якій рухаються Земля й Сонце. Те й інше Ератосфен зумів розрахувати на основі нескладних спостережень і простих малюнків. Наприклад, для визначення радіуса Землі виявилось достатньо довідатися про відстань від Александрії до Сієни (Асуана) і одночасно в цих двох містах виміряти висоту Сонця опівдні. Але мало хто з еллінів повірив цьому розрахунку. Адже виходило, що вся відома грекам Ойкумена — населена частина Землі — становить менше однієї сотої частки від поверхні земної кулі. «Не може бути, щоб ми так мало знали!» — таким був одностайний вирок освічених жителів Александрії, і вони відкинули розрахунки Ератосфена.

Успішно перевіривши географію за допомогою геометрії, Ератосфен вирішив перевірити історію за допомогою арифметики. Він знав, що від епохи Піфагора й Фалеса до його епохи минуло приблизно 300 років. Але який час минув від Гомера, або від героїв Троянської війни до Піфагора? Що відбувалося в ті далекі часи в Єгипті? Скільки століть простояли до тієї пори великі піраміди? Ератосфен був упевнений, що всі природні факти можна впорядкувати за допомогою здорового глузду й строгої математики. У датуванні Троянської війни він помилився менш ніж на сто років! Тож були підстави для віри у всемогутність точних наук у вчених Александрійської епохи...

звіздарів не довіряли їй, а користувалися більш могутньою обчислювальною технікою Гіппарха.

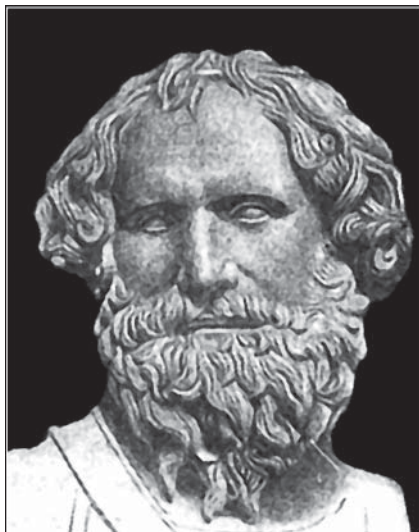
Ератосфен (276—194 рр. до н. е.) склав першу таблицю про-

Найбільші підстави для такої впевненості мав Архімед із Сиракуз (287—212 рр. до н. е.) — найвидатніший учений в історії Еллади й усїєї античності. За своїми уподобаннями він був скоріше фізиком, але за методами роботи — універсальним геометром і початківцем-алгебраїстом. Юність Архімеда минула в Александрії. Він там навчався в Арістарха й Конона — учня Евкліда. Там же він і потоваришував з Ератосфеном. Все життя друзі листувалися, причому Ератосфен являв собою весь колектив Александрійсько-го музею, а один Архімед уособлював цілу академію наук.

Генія в науці можна розпізнати за тим, як швидко він осягає досягнення попередників і як нестримно починає рухатися вперед із цього стартового рубежу. Для Архімеда стартовими опорами стали Евклід і Євдокс. Найвищим досягненням Євдокса була геометрична теорія чисел, що привела до побудови числового променя із точок. Найвищим відкриттям Евкліда стало обчислення об'єму піраміди методом «вичерпування», коли фігура розбивається на тонкі скибочки-призми, а їхні об'єми підсумовуються за допомогою арифметики.

Зіставивши ці дві теорії, Архімед зрозумів, що будь-яку пласку або просторову фігуру можна розбити на дрібні області-піщини (так само як Євдокс розбив на точки промінь), а потім підсумувати площі або об'єми піщин, так само як Евклід підсумував об'єми скибочок піраміди. При цьому арифметика й геометрія працюють дуже злагоджено, передаючи задачу з долоні в долоню, поки вона не буде вирішена. Звичайно, це важке ремесло — навіть два різних ремесла; але Архімедові обидва вони були під силу.

Незважаючи на незручний запис чисел, Архімед упевнено підсумував послідовності натуральних чисел, їхніх квадратів та кубів. Використовуючи ці суми й не знаючи таких понять «з майбутнього», як багаточлен та інтеграл, Архімед, по суті справи, інтегрував багаточлени — і жодного разу не помилився в цій роботі! Спочатку він обчислив площу фігури, обмеженої відрізками параболи й прямої. Потім були знайдені об'єми тіл, отриманих при обертанні цієї фігури навколо різних осей; за



Архімед

Архімед відкрив перший закон гідростатики, згідно з яким на всяке тіло, занурене у рідину, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі витисненої рідини. Відповідно до легенди, цей закон, який був названий його ім'ям, Архімед відкрив під час купання. Від радості, що його охопила, він голий вибіг на вулицю з вигуком : «Еврика!» («Відкрив!»)

цими даними Архімед знайшов центр ваги плоскої фігури. Нині розв'язування таких задач — звичайнісінька річ для студентів-математиків, що здають залік на першому курсі; але зробити це

вперше в історії було вкрай важко!

Архімед сформулював багато теорем про площі й об'єми складних фігур і тіл, які він цілком строго довів методом вичерпування. Архімед завжди прагнув одержати точні рішення й знаходив верхні й нижні оцінки для ірраціональних чисел. Архімед довів також кілька теорем, що містили нові результати геометричної алгебри. Йому належить формулювання задачі про розсічення кулі площиною так, щоб об'єми сегментів перебували між собою в заданому відношенні. Архімед розв'язав цю задачу, відшукавши перетин параболи й рівносторонньої гіперболи.

Архімед був найвидатнішим математичним фізиком стародавності. Для доведення теорем механіки він використовував геометричні міркування. Його твір «Про плаваючі тіла» заклав основи гідростатики.

Скоривши перші вершини на невідомому хребті математичного аналізу, Архімед пішов далі: його захопила головна проблема астрономії — рух планет навколо Сонця. Архімед був упевнений: існує простий опис цього руху, і знайти його можна тим самим «методом піщин»! Пройти цей шлях до кінця Архімед не зумів. Ця велика проблема була вирішена тільки через 18 століть. Але у 212 році до нашої ери гордий консул Метелл, який узяв штурмом Сиракузи, доставив у Рим небувалий трофей: металеву модель Сонячної системи з рухливих сфер і кіл, що її виготовив сам Архімед. Той експериментував з нею, коли йому бракувало прямих спостережень над зірками й планетами. У наші дні такий прилад називають «механічним аналоговим комп'ютером». Римляни із подивом дивилися на чудернацьку іграшку, не підозрюючи про значення цієї моделі.

У II столітті до нашої ери розквіт грецької науки припинився. Математика стала грою розуму для обраних, і приплив талановитої молоді в ряди вчених скоротився. Саме тому набагато зменшилася кількість великих астрономів і геометрів, що живуть одночасно й спонукують один одного до нових відкриттів. Тепер юнаки осягали науку за книгами, які роками або й навіть десятиліттями припадали пилом в бібліотеках в очікування гідного чи-

гача. Так зникло могутнє вчене співтовариство Еллади; залишився негустий розсип геніїв, не здатних жити без наукової творчості й здатних займатися цим поодиночі.

Найяскравішим представником цього покоління є Гіппарх із Нікеї, що жив між 190 і 120 роками до нашої ери. Замолоду він побував в Александрії, але не зустрів там великих учених і оселився на острові Родос, побудувавши там астрономічну обсерваторію. Через піввіку після смерті Архімеда Гіппарх взяв його справу у свої руки. Але підхід Гіппарха до математики був трохи іншим. Він не надавав великого значення геометричним побудовам і доказам, а намагався по можливості замінити їх розрахунками. Так, Гіппарх заклав основи алгебри й алгебричної (тобто обчислювальної) астрономії. Це було за 1000 років до появи слова «алгебра» і за 700 років до винаходу позиційного запису чисел. Це зумовило низку значних відкриттів у галузі астрономії. Завдяки цьому в науці з'явилася модель епіциклів. Питання про те, чи справедлива гіпотеза про епіцикли, Гіппарху, мабуть, на думку не спадало. Вона дає змогу вірно передбачати. Отже, вона вірна! Заперечити проти такого міркування зміг би тільки Ньютон, озброєний законом всесвітнього тяжіння й іншими аксіомами фізики. Але в античному світі цих аксіом ніхто не знав... Однак є незаперечним той факт, що це був успіх обчислювальної астрономії у вимірі космічних відстаней. Наступний великий успіх — вимірювання відстаней до планет — прийшов до астрономів лише в XVII столітті, після появи телескопів і точних маятникових годинників.

Отже, Гіппарх перший підійшов до створення алгебри й тригонометрії. Але засновником алгебри буде більш справедливо вважати Діофанта з Александрії: він перший почав ставити й розв'язувати алгебраїчні рівняння. Було це в III столітті нашої ери, коли Римська імперія переживала першу кризу, а підпільна християнська релігія поширилася на все Середземномор'я. Антична вченість збереглася лише на деяких острівцях, як, наприклад, Александрійська бібліотека, що зазнала величезних збитків під час пожежі ще в 47 році до нашої ери. Але математикам було



Гіппарх

Для майбутньої алгебри Гіппарх залишив цінну спадщину: перші таблиці довжин хорд, що стягують дуги даної кутової міри. Нині ми називаємо їх таблицями синусів; але це слово з'явилося значно пізніше.

легше відновити втрачені знання, ніж історикам або літературознавцям. Тому в епоху Діофанта жодне досягнення геометрії ще не

було забуте. В арифметиці ж з'явилося щось нове, не відоме ні Евкліду, ні Ератосфену — від'ємні (негативні) числа.

Діофант уже вільно працював з ними; він знав, що «мінус, помножений на мінус, дає плюс». Можливо, що саме він угадав це неочевидне правило — хоча зрозуміти його геометричний зміст змогли лише в XVII столітті, коли європейські математики звикли до комплексних чисел. Але поняттям нуля й позиційним записом цілих чисел Діофант не володів. Книга Діофанта «Арифметика» стала основою алгебри й теорії чисел. У ній автор вивчав розв'язки рівнянь-багаточленів у цілих числах. Він розв'язав знамените рівняння Піфагора: $x^2 + y^2 = z^2$ — і таким шляхом знайшов усі прямокутні трикутники із цілими катетами й цілою гіпотенузою.

Звичайно, Діофант намагався розв'язати й наступне рівняння цього типу: $x^3 + y^3 = z^3$ — але жодної потрібної трійки чисел він не знайшов. Тільки через 14 століть випадково вціліла книга Діофанта з Александрії потрапила до рук його гідного спадкоємця — П'єра де Ферма з Тулузи. У результаті — народилася Велика теорема Ферма...

Відкриття Гіппарха збереглися не випадково. Адже астрономія в усі століття була популярнішою за математику — через її спорідненість з астрологією, що завжди процвітала. У Гіппарха через 300 років знайшовся гідний учень — Клавдій Птолемей. Він склав вдалий підручник: «Мегале Математике Синтаксис», де виклав систему Гіппарха з усіма необхідними обґрунтуваннями. Цей посібник набув величезної популярності серед астрономів і астрологів і став урівень із великою книгою Евкліда. У перекладі з грецької книга Птолемея має назву «Правила Великого Вчення».

Після завоювання Єгипту римлянами в 31 році до нашої ери велика грецька александрійська цивілізація занепала. Ціцерон з гордістю твердив, що, на відміну від греків, римляни не мрійники, а тому застосовують свої математичні знання на практиці, маючи з них реальну користь. Однак у розвиток самої математики внесок римлян був незначний. Римська система числення ґрунтувалася на громіздких позначеннях чисел. Від неї залишились лише деякі числа, але й ними користуються не математики (наприклад, 1 — I, 5 — V, 10 — X), а історики для позначення століть, та письменники для позначення розділів.

Довгу назву книги Птолемея («Мегале Математике Синтаксис») араби скоротили до першого слова: вийшла «Велич» — «Альмагест». Новим європейцям сподобалося інше слово — «Вчення», або математика. Саме так ми з XII століття називаємо геометрію, арифметику, алгебру й усі науки, які пізніше народилися на зіткненні зі строгою античною мудрістю.

Під час занепаду математики в Європі спадкоємцями греків щодо збереження та розвитку цієї науки стали індійці. Математики Індії не займалися доказами, але вони ввели оригінальні поняття й ряд ефективних методів. Саме вони вперше ввели нуль і як кардинальне число, і як символ відсутності одиниць у відповідному розряді. Махавіра (850 р. н. е.) встановив правила операцій з нулем, гадаючи, однак, що ділення числа на нуль залишає число незмінним. Правильну відповідь для випадку ділення числа на нуль дав Бхаскара (1114 р.), йому ж належать правила дій над ірраціональними числами. Саме індійці ввели поняття від'ємних чисел для позначення боргів. Їхнє раннє використання ми знаходимо в Брахмагупті (бл. 630 р.). Аріабхата (476 р.) пішов далі Діофанта у використанні нескінченних дробів при розв'язанні неозначених рівнянь.

Наша сучасна система числення, заснована на позиційному принципі запису чисел і нуля як кардинального числа й використанні позначення порожнього розряду, називається індо-арабською. На стіні храму, побудованого в Індії близько 250 року до нашої ери, виявлено кілька цифр, що нагадують своїми обрисами наші сучасні цифри.

Цифри деванагарі, Індія, IX ст.	१	२	३	४	५	६	७	८	०
Цифри східних, арабів, IX ст.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Іспанські апекси, (976 р.).	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Французькі апекси, XII ст.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Французькі апекси, XIII ст.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Готичні цифри, близько 1400 р.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Цифри доби Відродження, бл. 1500 р.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сучасні цифри	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблиця еволюції індійських цифр у сучасні



Аль-Хорезмі

Третій відомий термін, уведений у математику знаменитим согдійцем аль-Хорезмі, — це «синус», хоча з введенням цього терміна трапився курйоз. Геометричний зміст синуса — це половина довжини хорди, що стягує дану дугу. Хорезмі назвав цю пряму красиво й точно: «тятива лука». Арабською це звучить як «джейяб». Але в арабському алфавіті є тільки приголосні букви; голосні ж зображуються «огласовками» — рисками, на зразок наших лапок і ком. Людина, мало обізнана з цим, читаючи арабський текст, нерідко плутає огласовки; так трапилося і під час перекладання книги Хорезмі латиною. Замість «джейяб» — «тятива» — перекладач прочитав «джіба» — «бухта»; латиною це пишеться «sinus». З того часу європейські математики використовують це слово, не переймаючись його справжнім змістом.

Близько 800 року індійська математика сягнула Багдада. Найбільших успіхів досяг согдієць Мухаммед ібн Муса аль-Хорезмі (тобто родом з Хорезма — з берегів Сирдар'ї, 787—850). Головна книга Хорезмі названа скромно: «Книга про відновлення й протиставлення», тобто про техніку розв'язування алгебричних рівнянь. Арабською мовою ця книга має назву «Кітаб аль-джебр валь-мукабала» (830). Пізніше при перекладі на латину арабська назва трактату була збережена, і з часом «аль-джебр» скоротили до «алгебри». Інше відоме слово «алгоритм», тобто чітке правило розв'язування задач певного типу, пішло від імені «аль-Хорезмі».

Інший видатний арабський математик Ібн аль-Хайсам (бл. 965—1039 рр.) відкрив спосіб розв'язування квадратних і кубічних алгебричних рівнянь. Арабські математики, у тому числі й Омар Хайям, уміли розв'язувати деякі кубічні рівняння за допомогою геометричних методів, використовуючи конічні перетини.

Омар Хайям (1048—1131) з Нішапура, більш відомий нині як чудовий поет, відкрив кілька способів наближеного обчислення кубічних коренів. Це була блискуча ідея: дістатися невідомих чисел, використовуючи добре знайомі криві! Як тільки в XVII столітті Рене Декарт додав до неї другу ідею — описати будь-яку криву за до-

помогою чисел — народилася аналітична геометрія, у якій розв'язування алгебричних рівнянь поєднано з теорією чисел і з наочною геометрією. Передчуваючи цей зв'язок, Омар Хайям провів багато цікавих обчислювальних дослідів. Він знайшов наближені способи ділення кола на 7 або 9 рівних частин; склав докладні таблиці синусів і з великою точністю обчислив число π .

Арабські астрономи ввели в тригонометрію поняття тангенса й котангенса. Насреддін Тусі (1201—1274) у «Трактаті про повний чотирикутник» систематично виклав пласку й сферичну геометрії й першим розглянув тригонометрію окремо від астрономії.

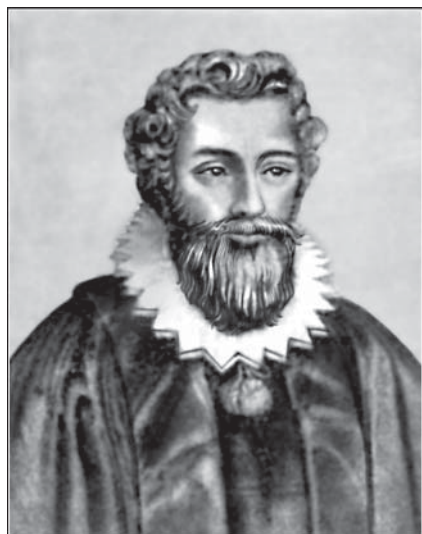
І все-таки найважливішим внеском арабів у математику стали їхні переклади й коментарі до великих творів греків. Завдяки їм Європа знову познайомилася із цими працями після завоювання арабами Північної Африки й Іспанії, а пізніше праці греків були перекладені латиною.



Омар Хайям

На підступах до сучасної математики

Серед кращих геометрів епохи Відродження були художники, що розвинули ідею перспективи, яка вимагала геометрії зі збіжними паралельними прямими. Художник Леон Баттіста Альберті (1404—1472) ввів поняття проекції й перетину. Прямолінійні промені світла від ока спостерігача до різних точок зображуваної сцени утворюють проекцію; перетин утворюється при проходженні площини через проекцію. Щоб намальована картина виглядала реалістичною, вона мала містити такий перетин. Поняття проекції й перетину породжували суто математичні питання. Наприклад, які загальні геометричні властивості мають перетин і вихідна сцена, які властивості двох різних перетинів тієї ж самої проекції, утворених двома різними площинами, що перетинають проекцію під різними кутами? З таких питань і виникла проєктивна геометрія. Її засновник Ж. Дезарг (1593—1662) за допомогою доказів, заснованих на проекції й перетині, уніфікував підхід до різних



Франсуа Вієт

типів конічних перетинів, які Аполлоній розглядав окремо.

Настання XVI століття в Західній Європі ознаменувалося важливими досягненнями в алгебрі й арифметиці. Так, італійські математики Н. Тарталья (1499—1577), С. Даль Ферро (1465—1526), Л. Феррарі (1522—1565) і Д. Кардано (1501—1576) знайшли загальні розв'язання рівнянь третього й четвертого степенів. Щоб надати алгебричним міркуванням і їхнім записам більшої точності, були введені символи, в тому числі «+», «—», « x^n » (ступінь), « $\sqrt{}$ » (корінь), « $=$ », « $>$ » і « $<$ ». Та найістотнішим нововведенням

стало систематичне використання французьким математиком Франсуа Вієтом (1540—1603) літер для позначення невідомих і постійних величин. Це нововведення дало йому змогу знайти єдиний метод розв'язання рівнянь другого, третього й четвертого степенів. Тим самим він впровадив у науку визначну ідею про можливість виконувати алгебричні перетворення над символами, тобто ввести поняття математичної формули. Цим він вніс вирішальний вклад у створення буквеної алгебри, чим завершив розвиток математики епохи Відродження й підготував ґрунт для появи досягнень Ферма, Декарта, Ньютона.

У 1584 році у відповідь на настійну вимогу герцогів де Гізів Вієта відсторонили від посади й вислали з Парижа. Саме на цей період припадає пік його наукових досягнень. Учений поставив собі за мету створення всеохоплюючої математики, що дає змогу розв'язувати будь-які задачі. Він був переконаний у тому, «що повинна існувати загальна, невідома ще наука, що охоплює і дотепні побудови новітніх алгебристів, і глибокі геометричні пошуки давніх».

Вієт виклав програму своїх досліджень у трактатах, об'єднаних загальним задумом і написаних математичною мовою нової буквеної алгебри, та у виданому в 1591 році знаменитому «Введенні в аналітичне мистецтво», що разом мали скласти новий напрямок у науці. На жаль, цього не сталося. Однак головний задум ученого здійснився: почалося перетворення алгебри на потужне математичне обчислення. Саму назву «алгебра» Вієт у своїх працях за-

Цікаво, що Франсуа Вієт розпочав свою кар'єру як адвокат, а згодом був секретарем і вчителем доньки хазяїна у знатній гугенотській родині де Партене. Саме завдяки викладанню прокинулася цікавість молодого юриста до математики. В 1671 році Вієт перейшов на державну службу, ставши радником парламенту, а потім радником короля Франції Генріха III. У 1580 році Генріх III призначив Вієта на важливий державний пост, що надавав право контролювати від імені короля виконання розпоряджень у країні й скасовувати накази великих феодалів. Перебуваючи на державній службі, Вієт залишався вченим. Він зажив слави тим, що зумів розшифрувати код перехопленого листування короля Іспанії з його представниками в Нідерландах, завдяки чому король Франції був завжди в курсі дій своїх супротивників.

мінів словами «аналітичне мистецтво».

Вієт показав, що, оперуючи із символами, можна одержати результат, застосовуваний до будь-яких відповідних величин, тобто розв'язати задачу в загальному вигляді. Це поклало початок докорінному перелому в розвитку алгебри: стало можливим буквене обчислення. Він першим став застосовувати дужки, які, щоправда, в нього мали вигляд не дужок, а risks над багаточленом.

Символіка Вієта дала також змогу розв'язувати й конкретні задачі, й знаходити загальні закономірності, повністю обґрунтовуючи їх. Таким чином, алгебра виокремилася в самостійну галузь математики, що не залежить від геометрії. Від Вієта нам залишилися й формули для обчислення коренів квадратних рівнянь, які мають назву теореми Вієта.

До видатних відкриттів XVII століття слід віднести введення в обіг десяткових дробів і правил арифметичних дій з ними. Але, щоб упоратися з величезним обсягом обчислень, необхідних, наприклад, для астрономів, потрібні були зовсім інші методи. Тому справжнім тріумфом став винахід логарифмів. Логарифми винайшли незалежно один від одного Джон Непер у 1614 році і Й. Бюргі десятима роками пізніше. Їхня мета була однаковою, але підходи — різними. Непер кінематично виразив логарифмічну функцію, що дало йому змогу, по суті, ступити в майже незвідану царину теорії функцій. Бюргі залишився на ґрунті розгляду дискретних прогресій. Слід зазначити, що обидва визначення логарифма відрізнялися від сучасного. І все ж першовідкривачем логарифмів вважають шотландського барона Непера (1550—1617).

До відкриття логарифмів він прийшов не пізніше 1594 року, але лише через двадцять років опублікував своє «Описання дивовижної таблиці логарифмів» (1614), що містило визначення Неперових логарифмів, їхні властивості й таблиці логарифмів синусів і косинусів від 0 до 90 градусів з інтервалом в одну хвилину, а також різниці цих ло-



Джон Непер

Термін «логарифм» належить Неперу. Він виник зі сполучення грецьких слів «відношення» і «число» і означає «відношення чисел». Спочатку Непер користувався іншим терміном — «штучні числа».

нуль, а за логарифм десяти просто одиницю. Цю пропозицію він зробив у ході обговорення із професором математики Генрі Брігсом (1561—1631), що відвідав його в 1615 році, який і удосконалив таблиці логарифмів. Свої результати він опублікував у книжці «Перша тисяча логарифмів», де були подані десяткові логарифми чисел від 1 до 1000 із чотирнадцятьма знаками. Пізніше, уже ставши професором Оксфорда, він видав «Логарифмічну арифметику» (1624), де вміщувалися чотирнадцятизначні логарифми чисел від 1 до 20 000 і від 90 000 до 100 000.

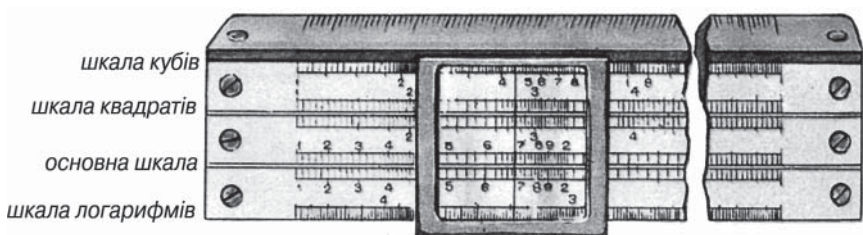
Згодом пропуски, що існували в таблицях, були доповнені голландським продавцем книг і аматором математики Андріаном Флакком (1600—1667). Свій внесок зробили і Е. Гунтер, В. Отред, Дж. Спейделл. Термін «натуральні логарифми» ввели П. Менголі (1659), а трохи пізніше — Н. Меркатор (1668).

До кінця XVII століття остаточно склалося розуміння логарифмів як показників степеня з будь-яким позитивним числом, відмінним від одиниці як основи. Та й практичне значення об-

гарифмів, що дають логарифми тангенсів. Теоретичні висновки й пояснення способу обчислення таблиці він виклав в іншій праці, підготовленій, можливо, до «Описання», але виданій по-смертно, в «Побудові дивної таблиці логарифмів» (1619).

Непер із самого початку вводив поняття логарифма для всіх значень безупинно мінливих тригонометричних величин — синуса й косинуса. В основу визначення логарифма Непером покладена кінематична ідея, що узагальнює на безперервні величини зв'язок між геометричною прогресією й арифметичною прогресією показників її членів.

Таблиці Непера, пристосовані до тригонометричних обчислень, були незручні для дій з даними числами. Щоб усунути ці недоліки, Непер запропонував скласти таблиці логарифмів, прийнявши за логарифм одиниці



Логарифмічна лінійка

числених таблиць було дуже великим. Але відкриття логарифмів мало також найглибше теоретичне значення. Воно викликало до життя дослідження, про які не могли й мріяти перші винахідники, у яких було на меті тільки полегшити й прискорити арифметичні й тригонометричні викладки з великими числами. Відкриття Непера, зокрема, відкрило шлях у галузі нових трансцендентних функцій і дало потужний стимул для розвитку аналізу.

Стрімкий рух у сьогодення

Аналітична, або координатна, геометрія була створена незалежно П'єром Ферма (1601—1665) і Рене Декартом (1596—1650) для того, щоб розширити можливості Евклідової геометрії в задачах на побудову. Однак Ферма розглядав свої роботи лише як переформулювання твору Аполлонія. Справжнє відкриття — усвідомлення всієї потужності алгебричних методів — належить Декарту. Евклідова геометрична алгебра для кожної побудови вимагала винаходу свого оригінального методу й не могла запропонувати кількісну інформацію, яка є необхідною для науки. Декарт вирішив цю проблему: він формулював геометричні задачі алгебрично, розв'язував алгебричне рівняння й лише потім будував отриманий розв'язок — відрізок, що мав відповідну довжину. Власне, аналітична геометрія виникла, коли Декарт почав розглядати невизначені задачі на побудову, розв'язками яких є не одна, а кілька можливих довжин.

Декарт не любив довгих розрахунків. Він віддавав перевагу наочно-геометричним міркуванням і хотів працювати цим методом з будь-якими складними кривими — а не тільки із прямими й колами, як це робив Евклід. Для цієї роботи корисно вміти складати, віднімати й множити криві між собою — так само, як ми це робимо із числами. І Декарт винайшов такий спосіб, помітивши, що багато кривих на площині задаються простими рівняннями — після того, як ми введемо на площині координати, зобразивши кожну точку двома числами (x , y). Наприклад, параболу можна



Рене Декарт

Декарт був не тільки видатним математиком, але й філософом. Він не брав на віру вчення Біблії та античних авторів. Саме йому належать слова: «Єдине, в чому я певен, це те, що я існую» або «Мислю, отже існую».

цього будь-яке рівняння із трьома невідомими $F(x, y, z) = 0$ задає у просторі якусь поверхню, а перетинання двох поверхонь задає криву в просторі. Щоправда, незрозуміло: чи всяку криву в просторі можна задати системою з двох рівнянь із трьома невідомими? Він створив так званий «Декартів лист» — алгебричну криву третього степеня. Класифікувати ж усі плоскі криві цього степеня Декарт «полінувався»: це вимагало складних обчислень, які пізніше виконав Ньютон.

Декарт не став усерйоз розвивати аналітичну геометрію тривимірного простору: він не міг ще знати, які задачі будуть там найцікавішими й корисними. І звичайно, Декарт жодним словом не згадав про чотиривимірний або багатовимірний простір, точки якого зображуються наборами із чотирьох або більше чисел: (x, y, z, t, \dots) . Аналітичний підхід найбільш зручний для дослідження багатовимірних просторів; але в середині XVII століття будь-яке згадування про таку можливість було б розцінене як нісенітниця або як ересь. Декарт любив життєві зручності й не хотів зазнати

задати рівнянням $v = x^2$, або рівнянням $x = \sqrt{v}$.

І взагалі: кожне рівняння з двома невідомими $F(x, y) = 0$ задає на координатній площині якусь криву! Але над рівняннями легко здійснювати будь-які арифметичні операції. Всі вони набувають геометричного сенсу, коли ми креслимо або подумки уявляємо криву, що відповідає даному рівнянню.

Таким чином, плоскі криві можна описувати на одній із двох еквівалентних мов: наочно-геометричній, або аналітичній — через формули. Двобічний «словник», що перекладає фрази однієї з цих мов на рівнозначні фрази іншої мови, Декарт назвав аналітичною геометрією.

Він помітив, що методи цієї науки неважко перенести й у простір. Для цього досить зобразити будь-яку точку простору трійкою чисел (x, y, z) . Після

Аналітична геометрія повністю поміняла ролями геометрію й алгебру. Як зауважив великий французький математик Ж. Л. Лагранж, «поки алгебра й геометрія рухалися кожна своїм шляхом, їхній прогрес був повільним, а використання обмеженим. Але коли ці науки об'єднали свої зусилля, вони запозичили одна в одної нові життєві сили й відтоді швидкими кроками попрямували до досконалості».

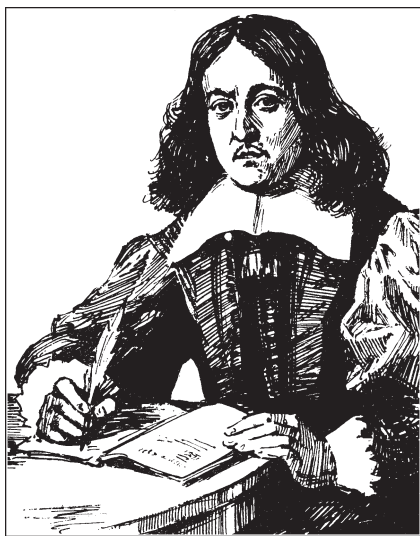
Він був юристом, а математикою займався на дозвіллі, читаючи книги класиків та сучасників і міркуючи про задачі, які ті не помітили або не зуміли розв'язати. Зрозуміло, що за такого способу роботи Ферма в жодній галузі науки не був першим. У математичний аналіз він увійшов слідом за Архімедом і Кеплером, в аналітичну геометрію — слідом за Декартом, у теорію ймовірностей — слідом за Паскалем, у теорію чисел — слідом за Діофантом. Але в кожному випадку Ферма додавав до вже готової або щойно народженої науки такі важливі відкриття, що перевершити його результати змогли тільки генії через багато десятиліть.

Велику заслугу Ферма перед наукою вбачають звичайно у введенні ним нескінченно малої величини в аналітичну геометрію, подібно до того, як це трохи раніше було зроблено Кеплером стосовно геометрії давніх. Він зробив цей важливий крок у своїх працях 1629 року про найбільші й найменші величини — з того почалися ті дослідження Ферма, які стали однією з найважливіших ланок в історії розвитку не тільки вищого аналізу взагалі, але й аналізу нескінченно малих величин зокрема.

Наприкінці двадцятих років XVII століття Ферма відкрив методи знаходження екстремумів і дотичних, які, із сучасної точки зору, зводяться до пошуку похідної. Систематичні методи обчислення площ до Ферма розробив італійський учений Кавальєрі. Але вже в 1642 році Ферма відкрив свій

долі Галілея, засудженого церквою за надто сміливі думки про наукове пізнання природи.

Ще спокійніше прожив своє життя великий сучасник і співвітчизник Декарта — П'єр Ферма з Тулузи (1601—1665). За спеціальніс-



П'єр Ферма

метод обчислення площ, обмежених будь-якими «параболами» і будь-якими «гіперболами». Він довів, що площа необмеженої фігури може бути кінцевою.

Ферма одним із перших взявся за розв'язання задачі випрямлення кривих, тобто за обчислення довжини їхніх дуг. Він зумів звести цю задачу до обчислення певних площ.

Таким чином, поняття «площі» у Ферма набувало вже досить абстрактного характеру. До визначення площ зводилися задачі на випрямлення кривих. Обчислення складних площ він зводив за допомогою підстановок до обчислення більш простих площ. Залишався тільки крок, щоб перейти від площі до ще більш абстрактного поняття «інтеграл».

У Ферма є багато інших досягнень. Він першим прийшов до ідеї координат і створив аналітичну геометрію. Він розв'язував також задачі із теорії ймовірностей. Але Ферма не обмежувався однією лише математикою, він вивчав й фізику, де йому належить відкриття закону поширення світла в середовищах, причому спочатку він обґрунтував це математично, а потім фізично.

Наприклад, Ферма зацікавився простою задачею: за яких умов функція досягає мінімуму або максимуму в даній точці? З'ясувалося, що необхідна проста умова: похідна від функції в цій точці повинна дорівнювати нулю. Нині цей факт відомий кожному старшокласникові: він допомагає будувати графіки досить складних функцій. Але Ферма спробував поширити своє відкриття на функції, що залежать від багатьох змінних, — і зробив чудове фізичне відкриття: світло рухається по такій траєкторії, на якій похідна за часом дорівнює нулю. Отже, час руху світла вздовж цієї траєкторії — мінімальний! Лише через сто років П'єр Мопертюї й Леонард Ейлер відкрили аналог принципу Ферма в механіці, що стало першим кроком до об'єднання механіки з оптикою в межах квантової теорії.

Теорію чисел Ферма будував майже на самоті: з усіх його сучасників тільки англієць Джон Валліс цікавився нею. Але Ферма мав важливу перевагу перед Валлісом і перед своїм античним попередником — Діофантом. Він добре знав аналітичну геометрію й оперував рівняннями так само вільно, як числами. Тому він легко довів «малу теорему Ферма» і довідався, що існують кінцеві поля залишків — системи чисел, улаштовані (у змісті арифметики) ще зручніше, ніж множина цілих чисел.

Розвиваючи цей успіх, Ферма зацікавився Піфагоровими трійками чисел — цілими розв'язками рівняння ($x^2 + y^2 = z^2$). Чи існують цілі розв'язки рівнянь ($x^n + y^n = z^n$) при $n > 2$? Діофант не знайшов жодного рішення для $n = 3$; Ферма довів, що таких розв'язків не може бути. Залишалося узагальнити метод Ферма

Куммер, займаючись Великою теоремою Ферма, побудував арифметику для цілих алгебричних чисел певного вигляду. Це дало йому змогу довести Велику теорему для деякого класу простих показників n . У наш час справедливість Великої теореми перевірена для всіх показників n менше 5500. Зазначимо також, що Велика теорема пов'язана не тільки з алгебричною теорією чисел, але й з алгебричною геометрією, що нині інтенсивно розвивається. Але Велика теорема в загальному вигляді ще не доведена, хоча існує багато варіантів її обґрунтування, в тому числі й на філософському рівні. Через це тут можна сподіватися на нові відкриття.

нівався в корисності таких чисел! Далі, при $n = 23$ доведення «великої теореми Ферма» натрапило на неоднозначне розкладання комплексних чисел певного вигляду на прості множники. Цю нову революцію в алгебрі викликав Ернст Куммер у середині XIX століття...

У цілому діяльність Ферма (як і діяльність Архімеда) можна порівняти з роботою повноцінної академії наук. Але, на жаль, за життя Ферма таких академій ще не було! Не було й наукових журналів для публікації нових відкриттів. Тому всі великі вчені Європи дізнавалися про нові досягнення своїх колег із взаємного листування. Деякі аматори математики (як абат Мерсенн у Парижі) зробили таке листування своїм головним внеском у науку. Вони регулярно повідомляли всіх своїх кореспондентів про те, які факти відкрили їхні далекі колеги. Якщо новий факт привертав чийсь увагу, то від автора вимагали письмового підтвердження. У противному разі повідомлення зависало в повітрі.

Такий «аматорський» стиль колективної роботи в науці був неминучий і навіть зручний, поки в усій Європі одночасно працювали два-три десятки великих учених. Як тільки їх стало більше — загальну роботу довелося організовувати за допомогою наукових установ. Цей перелом відбувся в 60-ті роки XVII століття. В 1662 році про своє народження оголосило Королівське товариство в Лондоні, а в 1666 році за його зразком виникла Паризька Академія наук. Вони відразу почали публікувати звіти про свої збори й про ті відкриття, які там обговорювалися. Із цього моменту науковий інтернаціонал європейців почав розвиватися швидко й невтримно. У рік смерті Ферма в науку ввійшов найславніший учений XVII століття — Ісаак Ньютон.

для інших простих показників: 5, 7, 11... На жаль, Ферма не став проводити в цьому разі докладних розрахунків — і тому не помітив дивних алгебричних перешкод на своєму шляху. Наприклад, при $n = 5$ необхідно використовувати комплексні числа: це першим помітив у кінці XVIII століття Адрієн Лежандр, а Ферма все життя сум-

Ньютонова революція в науці

Так математики й фізики називають останню третину XVII століття й першу чверть XVIII століття — той час, коли був створений сучасний математичний аналіз (обчислення похідних та інтегралів від будь-яких гладких функцій). Цю величезну роботу здійснила велика група вчених з різних країн Європи. Але англієць Ісаак Ньютон (1643—1727) посідає серед них особливе місце. Він був надзвичайно талановитий, йому багато в чому пощастило, і він блискуче скористався цим.

Ньютон дійсно вніс у науку стільки нового, скільки внесли Евклід і Архімед, разом узяті. Або Гільберт і Архімед — теж узяті разом. Але Ньютон придумав все це один — і за лічені роки! Втім, сам Ньютон не вважав себе одинаком у науці. Ось його слова: «Якщо я бачив далі, ніж інші, це тому, що стояв на плечах гігантів». Але, звичайно, не тільки тому! Ньютон сам був гігантом; його постать помітно піднімається над плечима Декарта, Кеплера й Галілея. Адже Ньютон винайшов першу систему аксіом математичної фізики: це рівнозначно досягненням Евкліда в геометрії. Він створив також математичний аналіз гладких функцій: це можна порівняти з винаходом планіметрії або алгебри. Для таких успіхів треба бути не тільки генієм, але ще треба й вчасно народитися.

Наукову революцію почав Декарт і продовжив Ньютон. Він перший зрозумів, що будь-яку функцію з гладким графіком слід подати у вигляді степеневого ряду, тобто у вигляді нескінченно довгого багаточлена із числовими коефіцієнтами!



Ісаак Ньютон

Ще в студентські роки Ньютон відкрив біноміальне розкладання для якого завгодно цілого додатного показника. Молодий учений відразу ж знайшов застосування своєму відкриттю: записав ряди для відображення сегмента й сектора кола, синуса, арксинуса, логарифмічної функції. За допомогою рядів Ньютон міг тепер вивчати властивості функцій, робити наближені обчислення. Слід зазначити, що в алгебрі ряди були не менш важливі, ніж десяткові дробі в арифметиці.

За допомогою степеневих рядів неважко обчислити похідну або інтеграл від будь-

Наукову діяльність Ньютона можна поділити на три періоди. В 1665—1667 роках він натхненно працював, відкриваючи основні закони природи й математики. Вже в 27 років професор Ньютон став визнаним «королем математиків і фізиків». Наступні 20 років він присвятив строгому доведенню відкритих ним законів, розрахунку найважливіших задач (включаючи рух Місяця й планет) і написанню своєї головної книги: «Математичні принципи філософії природи». В останні 40 років життя Ньютон мало займався наукою: він лише публікував раніше підготовлені ним книги, часом відволікаючись на розв'язування особливо важкої й цікавої задачі за допомогою математичного аналізу.

якої функції. Володіючи цими двома діями у світі функцій, можна розв'язати будь-яке диференціальне рівняння — тобто зрозуміти будь-який процес у фізичному світі. Кожен крок Ньютона на цьому шляху породжував нову теорему або виявляв новий закон природи, що відразу потрапляли в підручники. Наприклад, операції диференціювання й інте-

грування функцій виявилися взаємно зворотними. Нині цей факт називають теоремою Ньютона—Лейбніца (німецький учений відкрив її незалежно від англійця), яку постійно використовують при складанні таблиць інтегралів. Без цієї теореми життя студентів-першокурсників було б набагато важче!

Розробка диференціального й інтегрального числень стала важливим етапом у розвитку математики. Велике значення мали роботи Ньютона з алгебри, інтерполяції й геометрії. Завдяки йому алгебра остаточно звільнилася від геометричної форми; і його визначення числа не як зібрання одиниць, а як відношення довжини будь-якого відрізка до довжини відрізка, прийнятого за одиницю, стало важливим етапом у розвитку вчення про дійсне число.

Ньютон створив свій метод, опираючись на колишні відкриття, зроблені ним у галузі аналізу, але в найголовнішому питанні він звернувся по допомогу до геометрії й механіки.

Коли саме Ньютон відкрив свій новий метод, достеменно невідомо. Зважаючи на тісний зв'язок цього способу з теорією тяжіння, можна припустити, що це відбулось між 1666 і 1669 роками, але в усякому разі раніше перших відкриттів, зроблених у цій галузі Лейбніцем. Математику Ньютон вважав основним інструментом фізичних досліджень і розробляв її для численних подальших додатків. Після тривалих міркувань він дійшов до обчислення нескінченно малих на основі концепції руху; математика для нього не була абстрактним продуктом людського розуму. Він вважав, що геометричні образи — лінії, поверхні, тіла — утворюються внаслідок руху: лінія — при русі точки, поверхня — при русі лінії, тіло — при русі поверхні. Ці рухи здійснюються в часі,

і за будь-який малий час точка, наприклад, пройде будь-який малий шлях. Для визначення миттєвої швидкості, швидкості в даний момент, необхідно знайти відношення приросту шляху (за сучасною термінологією) до приросту часу, а потім — границі цього відношення, тобто взяти «останнє відношення», коли приріст часу прагне до нуля. Так Ньютон увів відшукання «останніх відношень», похідних, які він називав флюксіями.

Використання теореми про взаємну оборотність операцій диференціювання й інтегрування, про яку було відомо ще Барроу, і знання похідних багатьох функцій дало Ньютону можливість одержати інтеграли (за його термінологією, флюєнти). Якщо інтеграли безпосередньо не обчислювалися, Ньютон розкладав підінтегральну функцію в степеневий ряд і інтегрував його почленно. Для розкладання функцій у ряди він найчастіше користувався відкритим ним розкладанням бінома, застосовував і елементарні методи.

Новий математичний апарат був апробований ученим у головній праці його життя — «Математичних початках натуральної філософії». У той період Ньютон вже вільно володів диференціюванням, інтегруванням, розкладанням у ряд, інтегруванням диференціальних рівнянь, інтерполяцією.

Свої відкриття Ньютон зробив раніше за Лейбніца, але вчасно не опублікував їх, бо всі його математичні твори були видані після того, як він став знаменитим. У 1666 році він підготував рукопис «Наступні пропозиції достатні, щоб розв'язувати задачі за допомогою руху», що містить основні відкриття з математики. Рукопис залишався в чорновому варіанті й був опублікований тільки через триста років.

У книзі «Аналіз за допомогою рівнянь із нескінченною кількістю членів», написаній у 1665 році, Ньютон виклав результати своєї праці про нескінченно малі ряди, у додатку рядів до розв'язання рівнянь. У 1670—1671 роках Ньютон підготував до видання більш повну роботу — «Метод флюксій і нескінченних рядів», де його вчення подається як система: розглядається обчислення флюксій, додаток їх до визначення дотичних, знаходження екстремумів, кривизни, обчислення квадратур, розв'язування рівнянь із флюксіями, що відповідає сучасним диференціальним рівнянням. Ця праця була опублікована тільки в 1736 році, вже після смерті автора.

Метод Ньютона—Лейбніца починається із заміни кривої, що обмежує площу, яку потрібно визначити послідовністю ламаних, аналогічно тому, як це робилося у винайденому греками методі вичерпування. Точна площа дорівнює границі суми площ n прямокутників, коли n наближується до нескінченності. Ньютон показав, що цю межу можна знайти, обертаючи процес знаходження швидкості зміни функції. Операція, зворотна диференціюванню, називається інтегруванням.

У листі, написаному в червні 1677 року, Лейбніц прямо розкривав Ньютонові свій метод диференціального числення, але той не відповів. Ньютон вважав, що відкриття належить йому навечно, і при цьому досить того, що воно було заховане лише в його голові. Учений щиро вважав: своєчасна публікація не дає ніяких прав. Перед Богом першовідкривачем завжди залишиться той, хто відкрив першим.

не до набагато ширшого класу задач, ніж пошук швидкостей і прискорень, інтегрування застосовується до будь-якої задачі, пов'язаної з підсумовуванням, наприклад, до фізичних задач на додавання сил.

Протягом тривалого часу Ньютон навіть і не підозрював, що на континенті досить успішно досліджує подібну проблему Готфрід Вільгельм Лейбніц (1646—1716). Він, як і Ньютон, був вундеркіндом: ще у вісім років він самостійно вивчив латину, а ще через два роки — давньогрецьку мову. А нині багато хто називає Лейбніца останнім ученим епохи Відродження, або першим ученим епохи Просвітництва. Те й те вірно. Перше — тому, що до наших днів ще в жодної людини не було поєднання такого яскравого математичного таланту з широтою гуманітарних схильностей. Щодо цього Лейбніца можна зрівняти з Арістотелем, Леонардо да Вінчі або Рене Декартом. Інше звання Лейбніца також виправдане, адже він став першим академіком двох найвизначніших наукових співдружностей Європи: Лондонського Королівського Товариства й Паризької Академії наук. А пізніше Лейбніц виявився засновником ще двох академій. В 1700 році він став президентом і організатором Пруської Академії наук у Берліні. До Петербурга він не дістався, але, на прохання Петра I, встиг скласти проект Російської Академії наук, що була заснована в 1725 році — вже після смерті її ініціаторів.

Ще в 1676 році Лейбніц заклав перші підвалини великого математичного методу, відомого за назвою «диференціальне числення». Факти досить переконливо доводять, що Лейбніц хоча й не знав про ньютонівський метод флюксій, але був підведений до його відкриття листами великого вченого. З іншого боку, нема ніякого сумніву, що відкриття Лейбніца за рівнем сприйняття, за зручністю позначень й докладною розробкою методу стало знаряддям аналізу значно могутнішим й популярнішим за ньютонівське. Навіть співвітчизники Ньютона, що довгий час із національного самолюбства надавали перевагу методу флюксій, помалу засвоїли більш зручні позначення Лейбніца. Стосовно ж

вається інтегруванням. Твердження про те, що підсумовування можна здійснити, обертаючи диференціювання, називається основною теоремою математичного аналізу. Подібно до того, як диференціювання застосова-



Готфрід Вільгельм Лейбніц

«Лейбніц, на противагу конкретному, емпіричному, обачному Ньютону, — пише один з біографів Ньютона В. П. Карцев, — був в галузі числень великим систематиком, зухвалим новатором. Він з юності мріяв створити символічну мову, знаки якої відбивали б цілі зчеплення думок, давали б вичерпну характеристику явища. Цей амбіційний і нереальний проект був, звичайно, нездійснений; але він, видозмінившись, перетворився на універсальну систему позначень обчислювання малих, якою ми користуємося дотепер».

оцінити все значення реформи, яку здійснив Лейбніц у галузі математики. Те, про що кращі французькі й англійські математики, окрім Ньютона, що володів своїм методом флексій, мали лише невиразне уявлення, стало раптом ясным, виразним і загальнодоступним, чого не можна сказати про геніальний метод Ньютона. Лейбніц бачив у своїх диференціалах і інтегралах загальний метод, тому свідомо дійшов до створення твердого алгоритму спрощеного розв'язання задач, що не розв'язувалися раніше.

німців і французів, то вони взагалі мало звернули уваги на спосіб Ньютона.

Математичний метод Лейбніца перебуває в найтіснішому зв'язку з його пізнішим вченням про монади — нескінченно малі елементи, з яких він намагався побудувати Всесвіт. Математична аналогія, застосування теорії найбільших і найменших величин до моральної сфери дали Лейбніцу те, що він уважав провідною ниткою в моральній філософії.

Хоча політична діяльність Лейбніца (він був дипломатом) значною мірою відволікала його від занять математикою, весь свій вільний час він присвячував обробці винайденого ним диференціального числення й у проміжок часу між 1677 і 1684 роками встиг створити нову галузь математики.

У 1684 році Лейбніц надрукував у журналі «Праці вчених» систематичний виклад початків диференціального числення. Усі опубліковані ним трактати, особливо останній, що з'явився майже на три роки раніше першого видання «Начал» Ньютона, надали науці такого величезного поштовху, що за тих часів важко навіть було

У поширенні методів математичного аналізу серед математиків Європи головну роль відіграв не Ньютон, а його однодумці: голландець Хрiстiан Гюйгенс (Гейгенс) і Готфрiд Лейбнiц. Обидва вони поступалися Ньютонiвi у «пробивнiй силi» при розв'язуваннi важких задач; але вони не поступалися йому в науковiй фантазiї й перевершували в майстерностi. Саме Лейбнiц склав першу таблицю похiдних та iнтегралiв вiд елементарних функцiй. Тому найсильнiшi математики наступного поколiння — брати Бернуллi й Лопiталь — вивчали свою науку за статтями Лейбнiца, а не за книгами Ньютона.

Лейбнiц був дуже рiзнобiчним ученим. Крiм «безперервної» математики функцiй i похiдних, вiн дуже цiкавився «дискретною» математикою. Почавши з винаходу вдального арифмометра, Лейбнiц невдовзi помітив особливу зручнiсть двiйкової системи числення для математичних машин. Вiн також розвив математичну логiку, перейшовши вiд словесних мiркувань (сiлогiзмiв) Аристотеля до алгебричного обчислювання логiчних висловлювань. Про це ще в XIV столiттi мрiяв Раймонд Луллiй. Розвиваючи його iдeї, Лейбнiц замислився над повною формалiзацiєю людського мислення, над створенням «розумних машин». У своїй сподiваннiях Лейбнiц помилився — але щоб виявити його помилку, математикам XX столiття довелося побудувати електроннi комп'ютери та зрiвняти їхню роботу з дiяльнiстю людського мозку.

А Хрiстiан Гюйгенс (1629—1695) мав чудове чуття в галузi математичної фiзики: ним захоплювався навіть Ньютон, який жодного не вважав рiвним собi за талантом. Тому в математичнiй оптицi Гюйгенс зумiв перевершити i Ферма, i Ньютонa. Вiн запропонував хвильову теорiю свiтла, що бiльш вдало описувала природнi явища (дифракцiю й iнтерференцiю), нiж корпускулярна теорiя Ньютонa. У рамках своєї теорiї Гюйгенс зробив чудове вiдкриття: кожна точка, збуджена хвилею, що проминає, сама стає джерелом таких самих хвиль. Цей принцип Гюйгенса й давнiй принцип Ферма (про рух свiтла по траєкторiї найменшого часу) у XX столiттi склали основу квантової фiзики, злившись у єдиний принцип Фейнмана.



Хрiстiан Гюйгенс

Але для побудови повної математичної теорії світла Гюйгенсу забракло багатьох експериментальних результатів і ще однієї галузі математичного аналізу — теорії функцій комплексного змінного. Її відкрив Леонард Ейлер — найславетніший математик XVIII століття.

Найновіші сторінки в математиці

Леонарда Ейлера (1707—1783) часто називають ідеальним математиком XVII століття. Це був недовгий час Просвітництва, що вклинився між епохами жорстокої нетерпимості. Усього за шість років до народження Ейлера в Берліні була привселюдно спалена остання відьма. А через шість років після смерті Ейлера — в 1789 році — у Парижі спалахнула революція.

Ейлеру пощастило: він народився в маленькій тихій Швейцарії, куди з усієї Європи приїздили майстри й учні, які не бажали витрачати дорогоцінний робочий час на цивільні смути або релігійні суперечки. Так переселилася в Базель із Голландії і родина Бернуллі: унікальне сузір'я наукових талантів на чолі із братами Якобом і Йоганном. Випадково юний Леонард потрапив у цю компанію й невдовзі став гідним членом базельської купки геніїв.

Але коли вчені орлята підросли, з'ясувалося, що у Швейцарії бракує місця для їхніх гнізд. У далекій Росії, за задумом Петра I і за проектом Лейбніца, була заснована в 1725 році Петербурзька Академія наук. Російських учених не вистачало, і трійка друзів:

Зростання авторитета Ейлера знайшло своєрідне відбиття в листах до нього його вчителя Йоганна Бернуллі. В 1728 році Бернуллі звертається до «найученішого й найобдарованішого юнака Леонарда Ейлера», в 1737 році — до «славнозвісного й найдотепнішого математика», а в 1745 році — до «незрівнянного Леонарда Ейлера — голови математиків».

Леонард Ейлер із братами Данилом і Миколою Бернуллі (синами Йоганна) вирушили туди в пошуках щастя й наукових подвигів.

Тільки геній міг, виконуючи всю ту роботу, що запропонували йому в Академії, не

забути про велику науку. За 15 років свого першого перебування в Росії Ейлер встиг написати перший у світі підручник з теоретичної механіки (не вчити ж простого студента за складними книгами Ньютона!), а також курс математичної навігації й багато інших праць. Писав Ейлер легко й швидко, простою й зрозумілою мовою. Так само швидко він вивчав нові мови, але смаку до літератури не мав. Математика поглинала весь його час і сили.

Та раптом він помітив, що йому ні з ким нарівні поговорити про свою науку, та й Росія не була основним центром розвитку наук.

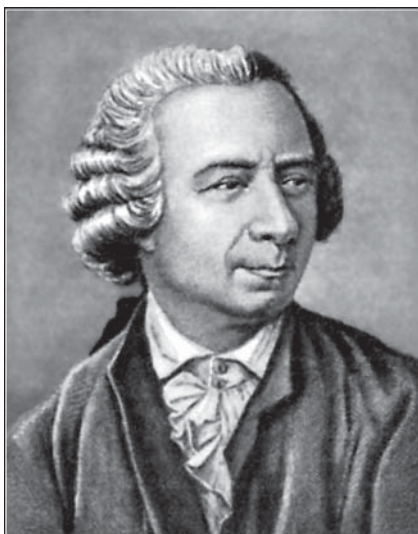
Тож Ейлер переїхав до Берліна, де молодий король Фрідріх II Пруський вирішив створити науковий центр, не слабкіший за паризький. Там учений провів чверть століття, і цей час вважав кращим у своєму житті.

Значний внесок Ейлер зробив і в геометрію. Він шукав у ній не стільки нові витончені факти, скільки загальні теореми, що не укладаються в догматику Евкліда. Наприклад, теорема про зв'язок між кількістю вершин, ребер і граней опуклого багатогранника:

$$B - P + G = 2.$$

Цю формулу знав ще Декарт; але він не залишив її доведення. Ейлер легко знайшов доведення цієї теореми, а потім замислився: якщо формула справедлива для всіх опуклих тіл, то яку ж властивість вона виражає? Можливо, властивість сфери, яку можна деформувати будь-який опуклий багатогранник? Якщо так, то ця формула навряд чи справедлива для інших замкнутих поверхонь — на зразок тора або кренделя! Перевірка показала: для деяких карт на торі вираз $B - P + G$ набуває значення 0, а на кренделі — значення (-2) . Але довести ці тотожності для всіх карт на складних поверхнях Ейлер не зумів і залишив цю проблему нащадкам. Удача прийшла в 1890-ті роки до Анрі Пуанкаре, який створив науку топологію — розділ математики, що вивчає топологічні властивості фігур, тобто властивості, що не змінюються при будь-яких деформаціях.

Але більша частина робіт Ейлера присвячена аналізу. Ще 1743 року він видав п'ять мемуарів, із них чотири з математики. Одна із цих праць просто чудова: в ній указується на спосіб інтегрування раціональних дробів шляхом розкладання їх на частки дробу й, крім того, викладається звичайний тепер спосіб інтегрування лінійних звичайних рівнянь вищого порядку з постійними коефіцієнтами. Взагалі, Ейлер так спростив і доповнив цілі великі відділи аналізу нескінченно малих, інтегрування функцій, теорії рядів, диференціальних рівнянь, які були розпочаті вже до нього, що вони набули приблизно такої форми, яка великою мірою притаманна їм і тепер. Ейлер, крім того, почав цілий новий розділ аналізу — варіаційне обчислен-



Леонард Ейлер

ня. Це його починання незабаром підхопив Ж. Л. Лагранж, що започаткував нову науку.

Та найвищим досягненням Ейлера в математиці є доведення основної теореми алгебри, яке було опубліковане в 1751 році в роботі «Дослідження про уявні корені рівнянь». Доведення цієї теореми мало найбільш алгебричний характер. Пізніше його базові ідеї повторювалися й поглиблювалися іншими математиками. Так, методи дослідження рівнянь розвивав спочатку Лагранж, а потім вони ввійшли складовою частиною в теорію Е. Галуа.

Основна теорема полягала в тому, що всі корені рівняння належать полю комплексних чисел. Для доведення цього Ейлер установив, що всякий багаточлен з дійсними коефіцієнтами можна розкласти в добуток дійсних лінійних або квадратичних множників.

Значення чисел, що не є дійсними, Ейлер називав уявними і вказував на те, що звичайно вважають їх такими, які попарно в сумі й добутку дають дійсні числа. Отже, якщо уявний корінь дорівнюватиме $2t$, то це дасть t дійсних квадратичних множників у поданні багаточлена. Ейлер пише: «Тому говорять, що кожне рівняння, яке не можна розкласти на дійсні прості множники, має завжди дійсні множники другого степеня. Однак ніхто, наскільки я знаю, ще не довів досить чітко істинність цієї думки; отже, я постараюся довести це таким чином, щоб охопити всі без винятку випадки».

Такої ж концепції потім дотримувалися Лагранж, Лаплас і деякі інші послідовники Ейлера. Не згодний з нею був лише К. Ф. Гаусс, про якого йтиметься далі.

Ейлер же сформулював три теореми, що впливають із властивостей безперервних функцій.

1. Рівняння непарного степеня має щонайменше один дійсний корінь. Якщо таких коренів більше одного, то кількість їх не є парною.
2. Рівняння парного степеня або має парну кількість дійсних коренів, або не має їх зовсім.
3. Рівняння парного степеня, у якого вільний член від'ємний, має щонайменше два дійсні корені різних знаків.

Слідом за цим Ейлер довів теореми про розкладність на лінійні й квадратичні дійсні множники багаточленів з дійсними коефіцієнтами.

При доведенні основної теореми Ейлер установив дві властивості алгебричних рівнянь:

1. Рациональна функція коренів рівняння, що набуває при всіх можливих перестановках коренів A різних значень, задовольняє рівнянню степеня A , коефіцієнти якого виражаються раціонально через коефіцієнти даного рівняння.

2. Якщо раціональна функція коренів рівняння інваріантна (тобто не змінюється) щодо перестановок коренів, то вона раціонально виражається через коефіцієнти вихідного рівняння.

П. С. Лаплас, слідом за Ейлером і Лагранжем, допускає розкладання багаточлена на множники. При цьому Лаплас доводить, що вони будуть дійсними. Таким чином, усі три вчені довели основну теорему алгебри, спираючись на припущення існування поля розкладання багаточлена на множники.

Після повернення в Росію, в 70-ті роки XVII століття навколо Ейлера виросла Петербурзька математична школа, яка більш ніж наполовину складалася з російських вчених. Тоді ж завершилася публікація головної книжки його життя — «Основи диференціального й інтегрального числень», за якою вчилися всі європейські математики з 1755 по 1830 рік. «Основи» вигідно відрізняються від «Початків» Евкліда й від «Принципів» Ньютона. Звівши струнку будову математичного аналізу від самого фундаменту, Ейлер не прибрав ті риштовання та сходинки, якими він сам підіймався до своїх відкриттів. Багато цікавих здогадок і початкові ідеї доведень збережені в тексті — незважаючи на помилки, які в них трапляються, — аби вони були наукою для всіх спадкоємців Ейлеревої думки. Це був перший підручник, призначений не для послідовників, а для дослідників: таким був заповіт Ейлера й усій епохи Просвітництва, адресований прийдешнім століттям і народам.

Карла Фрідріха Гаусса (1777—1855) вважають останнім латиністом серед великих учених Європи. Він з гордістю почував себе вихованцем епохи Просвітництва. Справді, в яку іншу епоху талановитий син садівника й водопровідника міг би удостоїтися персональної стипендії від герцога Брауншвейзького й бути прийнятим у Геттінгенський університет? Цей аванс Гаусс щедро повернув батьківщині: математична школа в Геттінгені стала найсильнішою в Німеччині й була такою понад сто років — поки до влади не прийшов Гітлер.

Математичний талант Гаусса виявився ще в ранньому дитинстві — і звичайно, першим його захопленням стала арифметика. В дев'ять років він під час шкільного уроку... відкрив формулу суми арифметичної прогресії. Пізніше Гаусс переніс всі теореми арифметики натуральних чисел на багаточлени й на цілі комплексні числа. У підсумку в алгебрі з'явилося загальне поняття кільця. Одночасно з'ясувалося, що множина простих чисел виду $(4k + 1)$ нескінченна і що всі їх можна уявити у вигляді суми двох квадратів. Це був перший новий факт такого роду, відкритий із часів Ератосфена. Пізніше учень Гаусса — Петер Діріхле — набагато перевершив учителя, довівши, що в будь-якій арифметичній про-



Карл Фрідріх Гаусс

Гаусса нерідко називають спадкоємцем Ейлера. Вони обидва мали неформальне звання «король математиків» і були вшановані посмертним шанобливим жартом: «Він перестав обчислювати й жити».

Введення нерозв'язності багатьох задач на побудову циркулем і лінійкою, які непокоїли ще Піфагора. Ключова ідея Гаусса дуже проста: треба зобразити точки площини комплексними числами (як почав робити Ейлер), і тоді геометрична задача перетвориться на алгебричну! Але як довести нерозв'язність алгебричної задачі?

Гаусс помітив, що будь-яка побудова циркулем і лінійкою зводиться алгебричною мовою до розв'язування ланцюжка квадратних рівнянь. А кожна «непокірлива» задача на побудову зводиться до розв'язування рівняння-багаточлена степеня більше, ніж 2. Чому ж розв'язування такого рівняння іноді не зводиться до розв'язування квадратних рівнянь? Отут мало одних розрахунків; потрібно вводити нові математичні поняття, що відбивають суть справи.

Гаусс винайшов два таких поняття: поле й векторний простір. У підсумку векторна алгебра, давно звична фізикам і геометрам, стала самостійною алгебричною наукою. Виявилося, що комплексне число, досягне за допомогою циркуля й лінійки, лежить у деякому полі розмірності $2k$, а всякий корінь нерозкладного багаточлена степеня k лежить у полі розмірності k . Якщо число,

гресії міститься нескінченна множина простих чисел (якщо перший член і різниця цієї прогресії взаємно прості).

Гаусс до старості зберіг юнацьку жадобу до знань і величезну допитливість. Наприклад, у 62 роки він швидко вивчив російську мову, щоб самому розібратися в працях свого колеги — Миколи Лобачевського. Але звичайно Гаусс уникав читати чужі статті або книги. Йому вистачало формулювання основного результату; доведення він придумував сам, заодно відкриваючи багато фактів, на які не звернув уваги сам автор. Така звичка сформувалась замолоду, коли 19-літній Гаусс вирішив сам освоїти всі досягнення й методи алгебри, не пропускаючи жодного яскравого додатка до цієї древньої науки.

Результат був вражаючий. Гаусс знайшов алгебричне до-

що цікавить нас, лежить у тім і в іншому полі — виходить, число $2k$ ділиться на k ; тобто саме число k є степенем двійки.

Із цього міркування випливає, що корінь будь-якого нерозкладного багаточлена третього степеня не можна побудувати циркулем і лінійкою. Наприклад, не вдається розділити на три рівні частини кут в 60° , або побудувати трикутник по трьох нерівних медіанах. Така ж заборона перешкоджає діленню кола на 7, 9, 11, 13 або 25 рівних частин. Але для ділення на 5 або на 17 частин заборони немає, оскільки числа $5 - 1 = 4$ і $17 - 1 = 16$ суть степені двійки. Тому елліни знайшли спосіб побудови правильного п'ятикутника, а Гауссу вдалося побудувати правильний 17-кутник. Він заповів зобразити цю фігуру на своєму надгробку — що й було зроблено. Однак проблема «квадратури кола» Гауссу не скорилася.

До 24 років Гаусс увійшов до числа найвідоміших математиків Європи. Але для повної слави потрібно було відзначитися в галузі небесної механіки. І тут доля підкинула Гауссу гідну задачу. У першу ніч 1801 року астрономи виявили на небі малу планету Цереру, чия орбіта лежить між Марсом і Юпітером. Після деяких спостережень планету загубили, і астрономи звернулися по допомогу до математиків. Гаусс першим відгукнувся на цей заклик: звернувшись до даних трьох спостережень, він зумів обчислити всі майбутні положення Церери. Через піввіку теорія збурень Гаусса дозволила астрономам розрахувати положення на небі ще ніким не баченої планети — Нептуна.

У 30 років Гаусса вважали вже «королем» європейських математиків. Суперників у нього не було, але не було і матеріального добробуту. Всесильний Наполеон тоді успішно грабував всю Європу, а Ганновер — особливо, оскільки це була вотчина короля непокірливої Англії. Молода дружина Гаусса померла. Тільки пошук нових таємниць природи (за допомогою математики) відволікав ученого від знегод.

Чудовий успіх в області геометричних побудов спонукав Гаусса до пошуків нових геометричних доведень. Він захопився старою, як світ, загадкою п'ятого Евклідового постулату про паралельні прямі. В 1818 році Гаусс здогадався, що цей постулат може мати інше формулювання — але не на площині, а на інших поверхнях, не відомих Евкліду.

До кінця життя Гаусс мовчав про свої відкриття в галузі основ геометрії — навіть після того, як їх повторили більш молоді математики: Микола Лобачевський і Янош Больяї. У чому ж річ? Дещо можна зрозуміти з листів Гаусса до його друзів; про інше доводиться здогадуватися. Щоб переконати науковий світ у незалежності постулату Евкліда, треба пред'явити наочну модель, де виконані всі інші аксіоми, а ця замінена чимось іншим. Наприклад, паралельних прямих може

Праці Гаусса тривалий час були недосяжним взірцем математичних відкриттів. Один із творців неевклідової геометрії Я. Больяї називав ці відкриття «найблискучішими відкриттями нашого часу або навіть усіх часів». А норвезький математик Н. Абель писав: «Навіть якщо Гаусс найславетніший геній, він, вочевидь, не намагався, щоб усі це відразу збагнули». У зв'язку з цим доречно згадати, що праці Гаусса надихнули Абеля на побудову багатьох визначних теорем.

геометрії — з багатьма прямими, що проходять через одну точку й не перетинають дану пряму, — називають геометрією Лобачевського (її ми розглянемо трохи нижче). Цей варіант геометрії реалізується на поверхні з постійною негативною кривизною: на так званій псевдосфері, що утворюється при обертанні трактиси («кривої переслідування», схожої на гіперболу) навколо її осі. Гаусс або не зміг побудувати псевдосферу, або не помітив її унікальних властивостей; а без цього він не зважився подати нову «неприродну» геометрію широкій публіці.

Але чому Гаусс не повідомив про свою гіпотезу про паралельні прямі хоча б у вузькому колі математиків? Адже саме так зробив Піфагор, виявивши несумірність діагоналі квадрата з його стороною! Імовірно, Гаусс міркував так: якщо постулат про паралельні прямі є незалежним від інших аксіом, то зникає єдина наука геометрія! Вона розділяється принаймні на три галузі — відповідно до трьох варіантів постулату про паралельні (за Евклідом, за Ріманном й за Лобачевським). А що далі? Чи не продовжиться розгалуження геометричної науки необмежено — після кожної нової аксіоми? Чи не пошириться цей процес на всю математику? І хто захоче працювати в такій роздробленій науці?

Мабуть, так міркував Гаусс у другій половині свого життя — і мовчав, не в змозі відповісти ні собі, ні іншим на це питання. Важко відповісти на нього й нині, у ХХІ столітті — особливо після того, як неясний здогад Гаусса перетворився в 1931 році на чітку теорему Геделя про неповноту будь-якої формальної системи аксіом.

Але вченому треба жити й працювати — навіть коли його розум не дає відповіді на ті питання, що його непокоять. Після 1820 року Гаусс захопився геометрією довільних гладких поверхонь. Він дав визначення їхньої кривизни й знайшов несподіваний зв'язок кривизни з Ейлеровою характеристикою поверхні. Займався Гаусс і математичною фізикою: він будував математичну теорію магнетизму, в той час як в Англії Фарадей винаходив способи технічного використання цієї природної сили.

зовсім не бути, якщо будь-які дві прямі перетинаються. Таке є на сфері, де роль прямих відіграють кола найбільшого радіуса. Пізніше цю геометрію називали ім'ям Ріманна, але на початку ХІХ століття її ніхто не прийняв би всерйоз. Інший варіант

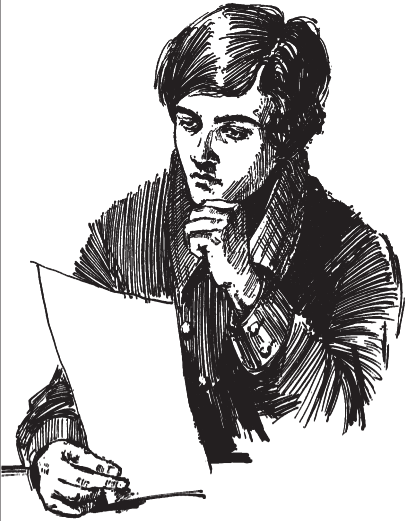
Треба сказати, що 30 березня 1796 року, в день, коли був побудований правильний 17-кутник, Гаусс почав вести щоденник, який невдовзі став справжнім літописом його чудових відкриттів. Наступний запис у щоденнику з'явився вже 8 квітня. У ньому повідомлялося про доведення теореми квадратичного закону взаємності, який він назвав «золотим». Окремі частини цього доведення довели Ферма, Ейлер, Лагранж. Так, Ейлер сформулював загальну гіпотезу, неповне доведення якої дав А. М. Лежандр. А 8 квітня Гаусс знайшов повне доведення теореми Ейлера. Втім, Гаусс ще не знав про роботи своїх великих попередників. Весь нелегкий шлях до «золотої теореми» він пройшов самотійно!

У 1798 році Гаусс підготував дисертацію, присвячену доведенню основної теореми алгебри, а вже 1801 року побачили світ знамениті «Арифметичні дослідження» Гаусса. Ця грандіозна книга (понад 500 сторінок великого формату) містить основні результати його міркувань. «Арифметичні дослідження» вплинули на подальший розвиток теорії чисел і алгебри. Закони взаємності дотепер посідають одне із центральних місць в алгебричній теорії чисел.

К. Ф. Гаусс залишив після себе відразу чотири доведення основної теореми алгебри. Першому доведенню він присвятив випущену в 1799 році докторську дисертацію на цю тему. Повз увагу Гаусса не пройшли «білі плями» в роботі Ейлера, а головне, він покритикував саму постановку питання, коли заздалегідь передбачалося існування коренів рівнянь. Перше доведення Гаусса було аналітичним. У другому доведенні (1815) знаменитий математик знову повернувся до критики доведення основної теореми алгебри за допомогою міркування, коли заздалегідь передбачається існування коренів рівняння.

Гаусс так пояснив у вступному параграфі необхідність нового доведення: «Хоча доведення про розкладання цілої раціональної функції на множники, що я дав у мемуарах, опублікованих 16 років тому, не залишає бажати кращого стосовно строгості й простоти, треба сподіватися, що математики не вважатимуть за небажане, що я знову повертаюся до цього надзвичайно важливого питання і будує друге, не менш строгі доведення, виходячи із зовсім інших принципів. А саме, це перше доведення залежало частково від геометричних розглядів, тоді як те, що я тут починаю пояснювати, ґрунтується на суто аналітичних принципах». Слід зазначити, що аналітичним Гаусс називає той метод, який сьогодні йменується алгебричним.

Для доведення Гаусс використовував побудови поля розкладання багаточлена. Минуло понад шістдесят років, коли й Л. Кронекер удосконалив і розвинув метод Гаусса для побудови поля розкладання будь-якого багаточлена. Згодом Гаусс дав ще



Еваріст Галуа

Вчитель Еваріста Галуа Рішар так відгукувався про свого учня: «Він працює лише у вищих відгалуженнях математики». І це було сказано про 17-річного хлопця!

різних галузей. Гаусс першим почав працювати в такій системі: немов би перекидаючи палаюче вугілля з однієї долоні на іншу. За це його шанобливо називають «батьком сучасної математики».

Еварісту Галуа (1811—1832) доля відміряла лише 21 рік життя. Його мало хто знав. Він встиг тільки вступити до Вищої Нормальної школи (це педагогічний університет у Парижі), але був виключений звідти серед інших «бунтарів»-республіканців у революційному 1830 році, і навіть побував у тюрмі за свої погляди. Загинув Еваріст на дуелі, смертельно поранений кулею у живіт. Здавалося, що незабаром про Галуа забудуть, як і про багатьох інших революціонерів, що не відбулися. Але пізніше з'ясувалося, що Галуа встиг відбутися як математик — причому такий, яких Франція не народжувала з часів Декарта. Цей дивно стрімкий злет наукової думки зробив коротку біографію Еваріста Галуа найвищою мірою повчальною для математиків з наступних поколінь. І це при тому, що математичні праці Галуа, принаймні ті, що збереглися, становлять якихось шістдесят невеличких сторінок. Ніколи ще праці такого малого об'єму не давали автору такої виняткової популярності. У чому ж полягає його відкриття?

два доведення основної теореми алгебри. Четверте і останнє датоване 1848 роком.

Не забував Гаусс і про комплексні числа, які так допомогли йому розібратися в таємницях геометричних побудов. Ніби розважаючись, самотній мудрець придумував все нові доведення своєї теореми про те, що всякий багаточлен має комплексний корінь. Мабуть, Гаусс хотів зрозуміти: чи має ця «суто алгебрична» проблема хоч один суто алгебричний розв'язок, або є неминучими комбінації алгебри з геометрією, або з математичним аналізом?

Виявилось, що такі комбінації неминучі. Будь-яка складна проблема розв'язується лише після кількох її перекладів з однієї математичної мови на іншу. І ось уже два століття вся математична наука розвивається в системі взаємодопомоги й сплітання її

Розмірковуюючи над працями Гаусса, Галуа писав: «Підкорити обчислення своїй волі, згрупувати математичні операції, навчитися їх класифікувати за мірою важкості, а не за зовнішніми ознаками, — ось задачі математиків майбутнього, на мою думку, ось шлях, яким я хочу піти».

Основна задача алгебри — пошук загального розв'язку алгебричних рівнянь — не залишалася поза увагою математиків і на початку XIX століття.

Коли говорять про загальний розв'язок рівняння другого степеня $ax^2 + bx + c = 0$, то мають на увазі, що кожний із двох його коренів може бути виражений за допомогою кінцевої кількості операцій додавання, віднімання, множення, ділення й множення коренів, виконуваних над коефіцієнтами a , b та c . Молодий норвезький математик Нільс Абель (1802—1829) довів, що неможливо одержати загальний розв'язок рівняння степеня вище чотирьох за допомогою кінцевої кількості алгебричних операцій. Однак існує багато рівнянь спеціального виду степеня вище чотирьох, які допускають такий розв'язок. От Галуа і дав остаточну відповідь на питання про те, які рівняння розв'язні в радикалах, тобто корінь яких рівнянь можна виразити через їхні коефіцієнти за допомогою кінцевої кількості алгебричних операцій. У теорії Галуа користувався підстановками або перестановками коренів, він також увів поняття групи, яке потім широко застосовувалося в багатьох відгалуженнях математики.

Йому потрібно було зрозуміти самому й пояснити іншим, чому рівняння вищих степенів не розв'язуються в радикалах! Гаусс винайшов у цій галузі чудову конструкцію. Можна приєднати до поля коефіцієнтів багаточлена його корінь і одержати нове поле — розширення колишнього поля. Цю дію можна повторювати багато разів; у підсумку виникає щось на зразок зростаючого кристала, осі й грані якого мають особливу симетрію. І можливо, що від цієї симетрії залежить можливість розв'язання вихідного рівняння!

Такою була зухвала здогадка Галуа; вона виявилася вірною, і саме через це автора вважають генієм. Але не тільки через це! Ще важливіше те, що Галуа зумів довести свою гіпотезу до строгої теореми. Для цього йому довелося створити першу математичну теорію довільних симетрій — так звану теорію груп. Саме Галуа ввів у науку такі поняття, як група й підгрупа, ізоморфізм і гомоморфізм груп.

Але навіть у наші дні суть теорії Галуа є складною для непідготовленої людини. Як почували себе сучасники Галуа — навіть наймаститіші академіки? Не дивно, що за життя Галуа (а жити йому залишалося два роки!) ніхто не зміг оцінити його відкриття належно, хоча Еваріст щедро розсилав свої тексти різним паризьким математикам. Напередодні дуелі Галуа по-справжньому злякався: що, коли

він загине і його відкриття загубляться? Він залишив заповіт своєму другу Шевалле із проханням — переслати копії його статей великому Гауссу. Той би все зрозумів і оцінив; але, скоріш за все, тексти Галуа так і не потрапили в Німеччину. Одне слово, велике відкриття могло піти в небуття слідом за своїм творцем.

На щастя, цього не сталося. Шевалле був ледь причетний до математики; але він зберігав рукописи Галуа протягом 15 років, а потім показав їх редактору нового «Журналу чистої й прикладної математики» — Жозефу Ліувілью. Молодий академік народився за два роки до Еваріста Галуа й теж захоплювався теорією чисел; він побудував перші числа, що не є коренями раціональних багаточленів. Ліувіль ледве розібрався в стислому тексті свого покійного ровесника й був уражений: як могли ці чудесні відкриття залишатися ніким не поміченими й не повтореними так довго?

Ми тепер знаємо, коли саме відкриття Галуа набули загального визнання. Це відбулося в 70-ті роки XIX століття — після того, як геометри оцінили, нарешті, провідну роль симетрії у своїй науці. В 1872 році Фелікс Клейн оголосив усьому світу: геометрія має стільки різних відгалужень, скільки різних груп симетрій можуть мати геометричні фігури. Теорія груп раптом стала всім потрібною; праці Галуа почали перевидавати, коментувати й переосмислювати. Незабаром теорія Галуа стала найважливішою частиною алгебри, а загальна теорія груп вторглась у математичну фізику, в топологію й навіть у теорію ймовірностей. У наші дні поняття групи входить у першу десятку найуживаніших математичних термінів.

Галуа стояв біля витоків струмочка, що перетворився на цю могутню ріку, і всіма силами сприяв такому перетворенню. Тому ім'я юного француза стоїть в одному ряду з іменами таких патріархів математики, як Ейлер або Гаусс, бо своєю теорією груп він привів до ладу математичний апарат, який неймовірно розрісся за кілька століть, і головне — навів порядок у мові математики.

Треба сказати, що до 1800 року математика спочивала на двох «китах» — числовій системі й Евклідовій геометрії. Оскільки багато властивостей числової системи доводилися геометрично, геометрія Евкліда була найбільш надійною частиною будови математики. Проте аксіома про паралельні (вона ж п'ятий постулат) містила твердження про прямі, що простираються в нескінченність, і це не могло бути підтверджене досвідом. Навіть версія цієї аксіоми, що належить самому Евкліду, зовсім не стверджує, що якісь прямі не перетнуться. У ній скоріше формулюється умова, за якої вони перетнуться в певній кінцевій точці.

Упродовж століть математики намагалися знайти аксіоми про паралельні відповідну належну заміну. Але в кожному варіанті неодмінно виявлявся якийсь недолік. Так, першими коментаторами Евклі-

Вольфганг Бойяї, шкільний друг Гаусса, писав йому про незвичайні математичні здібності свого сина Яноша, який до тринадцяти років уже вивчив планіметрію, стереометрію, тригонометрію, конічні перетини, а в 14 років уже з легкістю розв'язував задачі диференціального й інтегрального числення. У 18 років Янош уже повідомив батька про те, що знайшов шлях доведення аксіоми, над якою все життя мудрував Бойяї-старший: «Я створив новий, інший світ з нічого. Все, що я робив до цього, є тільки картковим будиночком порівняно з баштою, що споруджується».

ти до повного заперечення аксіоми, залишивши інші чотири недоторканими, і цим самим вивести нову, неевклідову геометрію.

Першим, хто припустив можливість існування неевклідової геометрії, був К. Ф. Гаусс, але це стало відомо тільки після смерті вченого, мабуть тому, що він не ризикнув опублікувати свої результати, побоюючись того, що сучасники не зрозуміють його. Тож честь створення неевклідової геометрії випала двом геніальним вченим XIX століття — М. І. Лобачевському (1792—1856) та Я. Бойяї (1802—1860). Кожний з них незалежно опублікував свій власний оригінальний виклад нової геометрії, і тому нині її називають геометрією Лобачевського—Бойяї. У ній зберігаються всі теореми, які можна довести без використання п'ятого постулату, але всі інші, в яких він використовується, видозмінюються. Так, за геометрією Лобачевського, сума кутів будь-якого трикутника (перша шкільна теорема, у доведенні якої використовується паралельність прямих) дорівнює більш ніж 180 градусів!.. Такі «сюрпризи» трапляються на кожному кроці, і саме в неевклідовій геометрії паралельні прямі отримали шанс коли-небудь перетнутися, і взагалі, через дану точку можна провести нескінченно багато паралельних прямих, — для цього треба тільки побудувати поверхню особливої форми, дуже не схожу на знайому з давніх-давен площину. Лобачевський намагався знайти її, але не зміг цього зробити. Побудова такої моделі (тобто доведення несуперечності геометрії Лобачевського) випала на долю математиків наступних поколінь.

Так, у 1868 році італійський математик Е. Бельтрамі дослідив увігнуту поверхню, яку він назвав псевдосферою, і довів, що на ній частково реалізується геометрія Лобачевського. А ще через два роки німець Ф. Клейн дослідив коло та деякі його проєкційні перетворення й дійшов того ж висновку. Ще одним послідовником став француз Ж. А. Пуанкаре, який навіть придумав фантастичний світ, «меш-

дового постулату стали Посидоній (II ст. до н. е.), Гемінус (I ст. до н. е.), Птолемей (II ст.) та Прокл (V ст.), який довів цю аксіому, фактично перетворивши її на теорему, та вивів власний, еквівалентний постулат. З часом таких постулатів ставало дедалі більше, але ніхто з математиків за два тисячоліття не зміг підій-



Микола Іванович Лобачевський

Лобачевський помер, так і не діждавшись визнання своїх ідей. Лише Гаусс висловив своє захоплення науковим подвигом російського вченого: він домігся призначення того членом-кореспондентом Геттінгенського королівського наукового товариства. Хоча в Росії Лобачевський дослужився до високих чинів, був нагороджений великою кількістю орденів, був шанований ученими, але про його геометрію воліли не говорити. Після його смерті минуло понад двадцять років, коли геометрія Лобачевського здобула права громадянства в математиці.

може гарантувати вірогідність доведення на основі недостовірних аксіом. Проте математики надалі дістали змогу досліджувати будь-які ідеї, які могли здатися їм привабливими. Кожен математик окремо був тепер вільний вводити свої власні нові поняття і встановлювати аксіоми на свій розсуд, стежачи лише за тим, щоб теореми, які випливають із аксіом, не суперечили одна одній. Грандіозне розширення кола математичних досліджень наприкінці минулого століття по суті стало наслідком цієї нової свободи дій.

канці» якого повинні були прийняти геометрію Лобачевського з фізичних експериментів. Такий світ мав сприйматися як безкінечний. Згодом були запропоновані й інші моделі геометрії Лобачевського—Бойяї, чим було доведено, що геометрія Евкліда не є єдиною з можливих. Це мало великий прогресивний вплив на подальший розвиток геометрії та математики загалом.

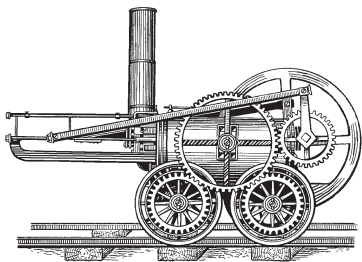
А в XX столітті було виявлено, що геометрія Лобачевського має велике значення не тільки для абстрактної математики, але й безпосередньо пов'язана з використанням математики у фізиці. З'ясувалося, що взаємозв'язок простору й часу відкритий у працях Х. Лоренца, Ж. А. Пуанкаре, А. Ейнштейна, Г. Мінковського, про який йдеться у спеціальній теорії відносності, має безпосереднє відношення до неевклідової геометрії. Наприклад, при розрахунках сучасних синхротронів використовуються формули геометрії Лобачевського.

Неевклідова геометрія стала найбільшим інтелектуальним здобутком XIX століття. Вона ясно продемонструвала, що до математики не можна ставитися як до зведення незаперечних істин. У найкращому разі вона

II

ВЕЛИКА ЕКСПЕРИМЕНТАТОРКА





Розвиток фізики і механіки тісно пов'язаний з розвитком культури як матеріальної, так і духовної. Так, для появи фізичних ідей потрібен цілком певний рівень технічного розвитку, а для цього має бути на потрібному рівні механіка. Люди століттями накопичували різноманітні спостереження, а в ряді випадків проводили необхідні дослідження й одержували важливі результати. З іншого боку, сама фізика, поява нових відкриттів дозволяли створити принципово нові технічні пристрої. Така взаємодія й взаємне збагачення фізики й механіки відбувається часом стрибкоподібно, а періодичність цих стрибків визначається багатьма факторами.

Фізика (від грецького «природа») — наука про природу, що вивчає найпростіші і водночас найзагальніші властивості матеріального світу. Її можна також більш розгорнуто визначити як науку, що вивчає загальні властивості та закони руху речовин та полів. Закони фізики лежать в основі всього природознавства.

Фізика — наука багатогранна. Вона пізнає закони навколишнього світу й вивчає закони зародження й існування речовини, її внутрішню будову. За об'єктами вивчення вона поділяється на фізику елементарних частин, атомних ядер, атомів, молекул, твердих тіл, плазми тощо. А до основних розділів належать передусім механіка, оптика, електрика та магнетизм, термодинаміка, квантова, атомна, статистична фізика, теорія відносності тощо. А ще фізика поділяється на теоретичну та експериментальну. В теоретичній фізиці вчені розробляють нові співвідношення, формули та закони, користуючись лише математичним апаратом та базуючись на раніше відомих законах фізики. Тут головні інструменти — папір та олівець. В експериментальній же фізиці отримують нові зв'язки між явищами завдяки фізичним вимірюванням. У цьому разі інструментарій ученого набагато більший — це найрізноманітніші вимірювальні пристрої, прискорювачі тощо.

Фізика і її молодша сестра механіка завжди мали тісний контакт із сусідніми науками: астрономією, хімією, мінералогією,

біологією, технікою. Нерідко, особливо в період становлення класичної фізики, вчені були, по суті, енциклопедистами. Та й зараз фізика іноді звертає свою увагу на суміжні галузі, що дає змогу одержувати нові результати. Природним є дуже тісний зв'язок фізики з математикою, яка стала інтелектуальним знаряддям для фізики. Часто успіхи фізики визначалися попередніми або одночасними успіхами в математиці. І навпаки, постановка фізичних завдань найчастіше обумовлювала прогрес у математиці. Тісний взаємозв'язок фізики з іншими науками визначив появу нових самостійних дисциплін, таких як математична фізика, фізична хімія, астрофізика, геофізика, біофізика тощо.

Фізика своєрідно пов'язана з філософією, що часто стимулювала розвиток фізики, але часом і гальмувала фізичний прогрес. Нерідко у фізиці працювали люди, відомі насамперед як філософи. Поза всяким сумнівом, успіхи природознавства впливали на всіх філософів. А багато фізиків у ряді випадків висували важливі філософські ідеї.

Подібно до того, як історія народів і держав віддає шану тільки значним подіям й видатним людям, історія фізики розглядає лише вершини дослідження й тих, хто їх досягав. Разом з тим, фізика — це плід колективної роботи, й потрібно цінувати працю тисяч людей, які брали участь у створенні науки.

Фізика ніколи не володіла готовою закінченою формою на всі часи й не претендувала на остаточну істину. І все-таки існує підтвердження її об'єктивної істинності. Історія фізики постійно дає приклади того, як дві повністю незалежні теорії (оптика й термодинаміка, хвильова теорія рентгенівських променів і атомна теорія кристалів) раптово сходяться й вільно по'єднуються одна з одною.

Народження фізики

Історія фізики — це історія боротьби за істину, історія перемог і поразок — від загального поклоніння до гонінь. Істини, що сьогодні відкриває для нас фізика, здаються навіть буденними. Всі звикли, що працюють телевізори, пральні машини, комп'ютери чи просто горить електричне світло. А для чого ж тоді будувалися тепло- електро- та атомні станції? Нікого вже не вражають підводні човни і літаки, автомобілі і космічні кораблі. Здається навіть дивним, що колись людство не мало не тільки цих благ, але й багатьох звичних інструментів та пристроїв. Усе це з'явилося не одразу, а поступово і завдяки відкриттям, які були зроблені вченими в галузі фізики. Але історія свідчить, що за знання подеколи платили навіть життями. Однак деякі відкриття, крім користі, принесли людям багато горя. Це передусім стосується «мирного атома», який незабаром перетворився на жахливу атомну бомбу

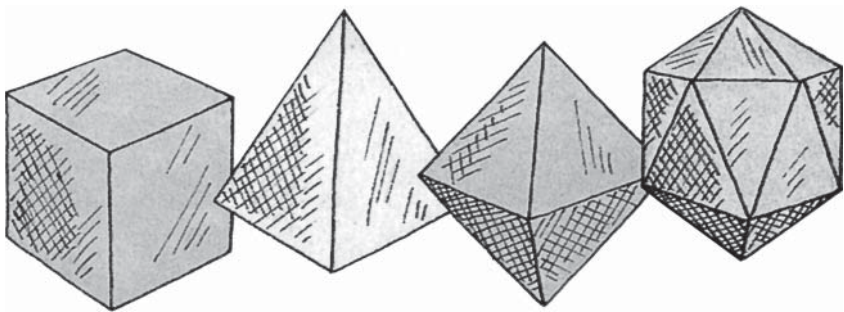
і смертоносний Чорнобиль. І все ж позитивних відкриттів було і є набагато більше.

У шумерів, вавилонян і єгиптян з окремих питань фізики були певні цінні знання, від яких, однак, складається враження чогось випадкового, несистемного. Це були зародкові пізнання, і науки як системи знань ще не існувало, на відміну від математики і астрономії.

У наведеній таблиці представлений хронологічний зв'язок основних етапів розвитку фізики й суспільства. З розвитком матеріального виробництва в давньому світі йшло нагромадження знань у галузі природознавства. Але в Давньому Єгипті, Месопотамії, Індії й Китаї ці знання не були систематизовані. Для розвитку фізики, безумовно, важливим є й рівень духовної культури суспільства, що необхідний для узагальнення даних, отриманих під час спостережень, для появи нових фізичних ідей і уявлень, створення стрункої системи знань. Особливо яскраво про це свідчить історія фізики античного світу.

Хронологія розвитку культури й фізики

Період	Матеріальна культура	Духовна культура	Фізика
До VI ст. до н. е.	Розвиток продуктивних сил	Панування релігії	Нагромадження даних під час спостережень
VI—IV ст. до н. е.	Розвиток продуктивних сил	Зародження «чистих наук»	
IV ст. до н. е. — II ст. н. е.	Розвиток продуктивних сил	Розвиток філософії. Виокремлення конкретних наук	Поява натурфілософії. Зародження механіки й оптики
III—XII ст.	Занепад у Європі. Розвиток в арабському світі	Панування нових релігій	Занепад у Європі. Розвиток в арабському світі
XIII—XVI ст.	Промислова революція. Географічні відкриття	Університети. Ренесанс. Система Коперника	Зародження експериментальної фізики
XVII—XVIII ст.	Зростання промислового виробництва	Буржуазні революції. Академії наук	Створення класичної механіки
XIX ст.	Промислова революція	Розвиток демократичних свобод	Становлення класичної фізики
Кінець XIX — початок XX ст.	Промислова революція	Розвиток демократичних свобод	Революційні відкриття
XX ст.	Науково-технічна революція	Розвиток демократії. Поява тоталітаризму	Розвиток квантової, ядерної фізики



Уявлення давніх греків про форму атомів (зліва направо): землі, вогню, повітря та води

І тільки після появи «чистих наук» — філософії й математики в Давній Греції стали можливими систематичні роботи з опису й пояснення явищ природи. При цьому природно використовувалися експериментальні спостереження, які накопичувалися в процесі розвитку матеріальної культури. Досягнення високого загального культурного рівня в Греції при наявності великого комплексу знань і технічних навичок забезпечило в VI столітті до нашої ери початок робіт з опису, упорядкування й пояснення явищ природи. Тому саме в цей час, у натурфілософських роботах Арістотеля з'являється поняття «фізика» і закладаються підвалини фізичного мислення.

І все ж таки вже в епоху античності було зроблено багато відкриттів у галузі фізики. Так, у VI столітті до нашої ери Піфагор дійшов висновку про кулястість Землі. Він же здійснив перші спостереження в галузі акустики: встановив зв'язок між висотою тону й довжиною струни або труби. Фалесу Мілетському належать перші відкриття в галузі електрики й магнетизму: відкриття властивостей натертого бурштину притягати легкі предмети, а магніту — залізні.

У V—IV столітті до нашої ери виникли ідеї про переривчасту, зернисту будову матерії, а Левкіпп та Демокріт установили, що границею подільності речовини є атом. Платон же створив теорію зору. У IV столітті до нашої ери виникли поняття руху як загальної зміни й механічного руху як просторового переміщення, що стало ґрунтом для зародження елементів механіки. Водночас форму-

лювалися правила до-
давання переміщень,
рівноваги важеля, а
також перші уявлення
про поширення звуку
в повітрі (стискання і
розрідження повітря),
про відбиття звуку від
перешкод.

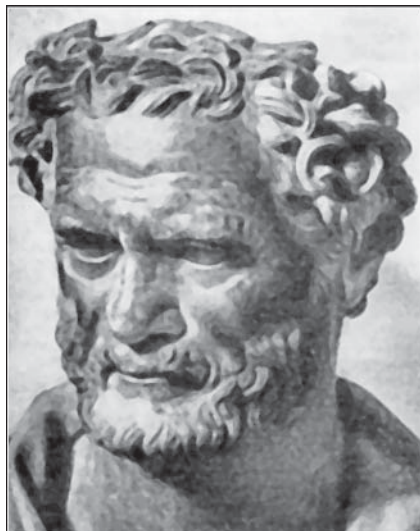
Арістотель (384—322 р. до н. е.) був учнем Платона, а згодом став вихователем Александра Македонського. Останній дуже цінував Арістотеля і казав: «Я шаную Арістотеля нарівні зі своїм батьком, бо якщо батькові я зобов'язаний життям, то Арістотелю зобов'язаний усім, що дає йому ціну».

Дослідження Арістотеля належать до галузі механіки, акустики, оптики. Фізика Арістотеля, що була заснована на доцільності природи, містила окремі правильні положення, але не сприймала низки ідей попередників (геліоцентризм, атомізм тощо). Вчення Арістотеля було канонізоване церквою й гальмувало до XVI століття розвиток природознавства. Вчений написав ряд натурфілософських робіт («Фізика», «Про небо», «Про виникнення й знищення», «Метеорологія», «Механічні проблеми», «Метафізика» тощо), які систематизували всі природничо-наукові знання того часу. В цих роботах він виклав свої уявлення про рух і природу. Первинними якостями матерії він уважав дві пари протилежностей: «тепле — холодне» і «сухе — вологе», основними елементами або стихіями — землю, повітря, воду й вогонь. Найбільш досконалим Арістотель вважав п'ятий елемент — ефір. Арістотель намагався заснувати фізику на ґрунті спостережень й експериментів, однак прагнув охопити й пояснити все. За традицією філософів того часу, у своїх працях він прагнув створити закінчену наукову картину замкнутого й обмеженого світу.

Найцікавішим є його вчення про рух, що за Арістотелем є будь-якою кількісною та якісною зміною, завдяки якій явище реалізується. Це вчення панувало у фізиці до епохи Відродження, і, незважаючи на виявлені істотні помилки, ряд принципів уявлень залишився сталим дотепер. Великою заслугою Арістотелевої кінематики було формулювання точного правила додавання переміщень. До сучасної науки близько стоять його дослідження зі статички: рівновага важелів, дія ваг і блоків. Арістотелю належить й відкриття заломлення світла.

Чого бракувало Арістотелеві фізиці, так це аналітичної обробки, критичності й обережності при узагальненні. Сучасна фізика ставить до даних, отриманих під час експерименту, з критичною обережністю, Арістотелева ж наука — з наївною простодушністю. Поразки Арістотеля пояснюються недосконалістю методів дослідження.

До епохи Відродження, що почалася після тисячоліття застою, велику кількість наукових відкриттів було зроблено в Давній Греції, проте чимало відкриттів і винаходів припадає



Демокріт

також на арабські країни й Китай. Та незаперечним є те, що античний світ народив лише дві постаті — Демокріт з Абдери (бл. 460—370 до н. е.) у Фракії (нині Болгарія) і Архімед із Сиракуз (бл. 287—212 до н. е.), — які зробили найбільший внесок у формування основ сучасної фізики.

Демокріт першим з великих математиків вплинув на розвиток фізики. Найбільше він відомий як творець атомістичної теорії. Ідея атомістики, очевидно, зародилася в його вчителя Левкіппа з Мілета, фігури, про яку мало що відомо. Аргументи атомістів мали непрямий характер (чому навряд чи доводиться дивуватися, якщо взяти до уваги, що прямі експериментальні дослідження атомних явищ стали можливі тільки в ХХ ст.). Вони думали, що, хоча в природі й відбуваються безперервні зміни, у ній також, можливо, є якийсь незмінний субстрат. Демокріт цей субстрат уявляв як сукупність атомів, а ріст і розпад організмів і рослин — лише як прояв змін у розташуванні незмінних атомів. Плавлення твердих тіл і випаровування рідин він пояснював як перехід сукупності атомів до менш зв'язаного стану.

Щодо теорії, то найблискупішими вважаються основні праці великого вченого античності Архімеда, які стосувалися різних практичних відгалужень математики, фізики, гідростатики й механіки. Архімед створив теорію п'яти механізмів, відомих на той час як «прості механізми». Це — важіль, клин, блок, нескінченний гвинт і лебідка.

Але Архімед знав також, що предмети мають не тільки форму й вимір, але й те, що вони рухаються або можуть рухатися, чи залишаються нерухомими під дією певних сил, які рухають предмети вперед чи надають рівноваги. Великий сиракузец вивчав ці сили й винайшов нову галузь математики, у якій матеріальні тіла, при зведенні до їхньої геометричної форми, зберігають водночас свою вагу. Ця геометрія ваги і є раціональна механіка, статика, а також гідростатика.

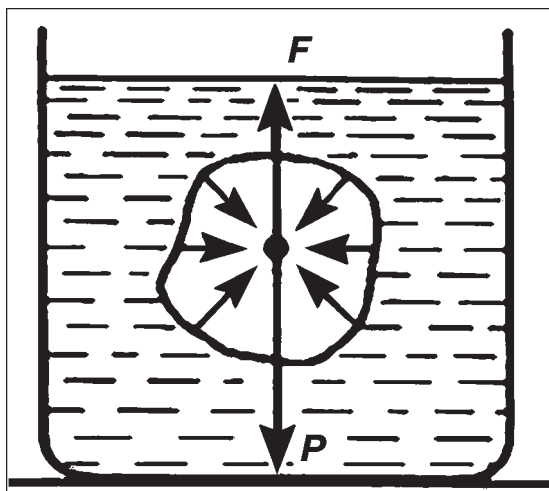
Вчення про гідростатику Архімед розвиває в праці «Про плаваючі тіла». «Припустимо, — казав учений, — що рідина має таку природу, що з її часток, розташованих на однаковому рівні й притиснутих одна до одної, менш здавлені виштовхуються більш здавленими й що кожна з її часток здавлюється рідиною, що перебуває над нею по схилу, якщо тільки рідина не укладена в який-небудь посуд й не здавлюється ще чимось іншим». Покладаючись на це положення, Архімед математично довів, що вказані нижче «наслідки» повністю пояснюються за допомогою наведеної гіпотези:

1. Тіла, рівновагі з рідиною, занурені в цю рідину, поринають так, що ніяка їхня частина не виступає над поверхнею рідини, і не будуть рухатися донизу.

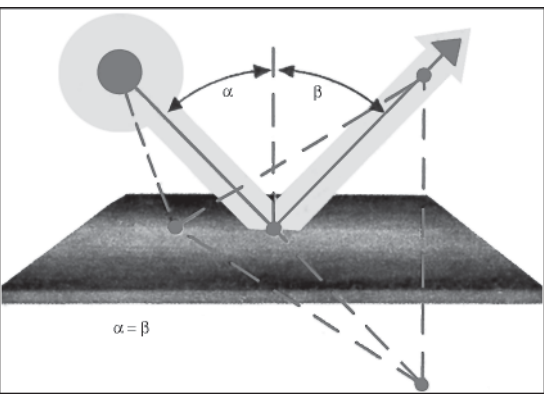
2. Тіло, легше за рідину, занурене в цю рідину, не поринає повністю, і певна його частина залишається над поверхнею рідини.
3. Тіло, легше за рідину, занурене в цю рідину, поринає настільки, що об'єм рідини, який відповідає зануреній частині тіла, має вагу, рівну вазі всього тіла.
4. Тіла, легші за рідину, занурені в цю рідину насильно, будуть виштовхуватися нагору із силою, рівною тій вазі, на яку рідина, що має рівний об'єм із тілом, буде важча цього тіла.
5. Тіла, важчі за рідину, занурені в цю рідину, будуть поринати, поки не дійдуть до самого низу, і в рідині полегшають на величину ваги рідини в об'ємі, що дорівнює об'єму зануреного тіла.

Пункт 5 містить фактично загальновідомий закон Архімеда, відкриття якого дало йому змогу, відповідно до легенди, здійснити перевірку, з яких металів складається корона сиракузького правителя Гієрона. Відома розповідь про перше практичне застосування Закону Архімеда наведена в давньоримського автора Вітрувія: «...Виходячи зі свого відкриття, він, кажуть, зробив два зливки, кожен такої самої ваги, як і корона, — один із золота, другий — зі срібла. Зробивши це, він наповнив водою посуд по самі вінця і опустив у нього срібний зливоч, із посуду вилилася така кількість води, що за своїм об'ємом відповідала об'єму зливка, зануреного в посуд. Так він знайшов, яка вага срібла відповідає певній кількості води.

Зробивши таке дослідження, він у такий же спосіб опустив золотий зливоч у повний посуд. Потім, вийнявши його й додавши тією ж міркою кількість води, що вилилася, знайшов на підставі меншої кількості води, наскільки менший об'єм займає зливоч золота порівняно з таким же зливком срібла». Те саме він зробив і з короною, довівши, що корона складається зі сплаву, а не з чистого золота. Архімед не обмежився описом не досить точного експеримен-



Схематичне зображення дії закону Архімеда



Схематичне зображення дії закону відбиття світла

ту, а перейшов до більш точного кількісного вимірювання. Автор арабського твору XII століття «Книга про ваги мудрості» ал-Хазіні, цитуючи «слово в слово» трактат грека Менелая, що дійшов до нас, повідомляє, що Архімед «винайшов механічне пристосування, і завдяки своєму

тонкому пристрою визначив, скільки золота й скільки срібла міститься в короні, не порушуючи її форми». Ал-Хазіні наводить також схему пристрою, який називається «ваги Архімеда», з рухливим вантажем.

Спираючись на принципи Архімеда, Сінезій з Кірені в IV столітті винайшов «гідроскоп» — ареометр для визначення питомої ваги рідин. Прилад, виготовлений із бронзи, мав насічки і вочевидь використовувався для складання таблиць питомих ваг різних рідин. На жаль, подібні таблиці до нашого часу не збереглися.

Крім математики, фізики й механіки, Архімед займався геометричною й метеорологічною оптикою й зробив ряд цікавих спостережень щодо заломлення світла. Є відомості про те, що вченим був написаний невеликий твір, який дійшов до нас під назвою «Катоптрика», уривки з якого часто цитувалися давніми авторами. На основі цих цитат можна зробити висновок про те, що Архімед добре знав запалюючу дію ввігнутих дзеркал, проводив досліди із заломлення світла у повітряному й водному середовищах, знав властивості зображень у плоских, опуклих і ввігнутих дзеркалах. От як про ці роботи говорив Апулей: «Чому в плоских дзеркалах предмети зберігають свою натуральну величину, в опуклих — зменшуються, а в увігнутих — збільшуються; чому ліві частини предметів видно праворуч і навпаки; коли зображення в дзеркалі зникає й коли з'являється; чому ввігнуті дзеркала, поставлені проти Сонця, запалюють піднесений до них трут; чому в небі видно веселку; чому іноді здається, що на небі два однакових Сонця, і про багато чого іншого подібного ж роду, про що розповідається в об'ємистому томі Архімеда».

Однак від самої праці, та й то в пізньому переказі, вціліла лише єдина теорема, у якій доводиться, що при відбитті світла від дзерка-

ла кут падіння променя дорівнює куту відбиття. З «Катоптрикою» пов'язана й легенда про дзеркала, що запалюють, про підпали Архімедом римських кораблів під час облоги Сиракуз. Що в цій історії вимисел, а що є відображенням дійсних подій, це і донині викликає бурхливі дискусії сучасних учених. Деякі дослідники не виключають можливості, що генієві Архімеда був по силі винахід і побудова геліоконцентратора, тому що сама ідея розчленовування ввігнутого дзеркала на безліч плоских елементів, яка пов'язана із заміною кривої уписаними й описаними багатокутниками, часто застосовувалася ним у геометричних доведеннях. Взагалі, підхід



Спалення ворожого флоту за допомогою системи дзеркал

Архімед був одержимий наукою й винахідництвом. Сконструйовані ним апарати й машини сприймалися сучасниками як чудеса техніки. Складалося враження, що він не спав і не їв, а весь час приділяв лише творчому пошуку. Саме тому багатьом не давали спокою «сонячні дзеркала» Архімеда. Навіть після того, як знаменитий французький філософ і математик Рене Декарт у своїй «Діоптриці» переконливо довів, що це неможливо, і розповіді про них стали для науки легендою, загадка залишилась. Але було б дуже шкода, якби така цікава легенда була спростована. І тому італійські вчені спробували довести, що «бойові дзеркала» Архімеда існували, але були призначені не для підпалу, а для... наведення на ціль. Тобто з'єднаний із сонячним «зайчиком» стовбур арбалета посилав стрілу точно в ціль за променем. А якщо згадати про те, що сиракузці мали секрет (до речі, безнадійно загублений) «грецького вогню», то може бути цілком імовірним той факт, що кораблі римлян спалахували від стріл, просотаних цією займистою сумішшю. А що ж дзеркала? А вони до того ж били в очі відбитим сонячним світлом і, природно, «приховували» політ стріли. Отже можливо, що геніальний Архімед винайшов не «сонячний лазер», а першу «променеву зброю».

створена велика кількість наукових енциклопедій. Це протягом багатьох століть було єдиним джерелом відомостей про грецьку науку. Але з розпадом імперії внаслідок навали варварів традиції грецької школи були надовго забуті на Заході.

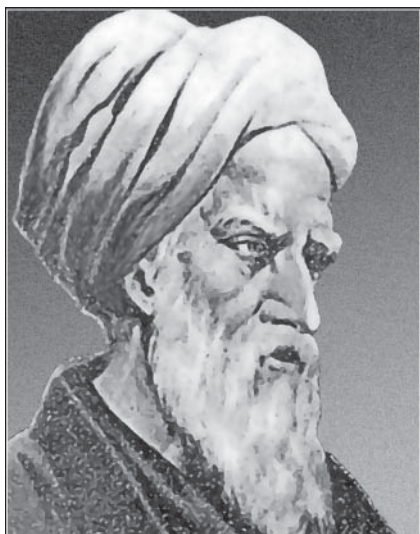
На Сході культурні традиції грецької школи ніколи не зникали, хоча й були ослаблені. Вони підтримувалися у Візантійській імперії, а потім були перейняті арабами, а від них прийшли на Захід уже приблизно в XIII столітті.

Найбільш яскравим арабським фізиком-оптиком був Альхазен (965—1039), який працював у Каїрі на початку XI століття. Крім фізики він займався також астрономією, математикою та медициною, які зіграли не останню роль у його дослідженнях. Основним його досягненням як оптика стало створення теорії зору. У цій теорії Альхазен ґрунтувався на анатомічному описі ока, відомому з

Архімеда й інших давньогрецьких учених до розв'язування фізичних проблем ґрунтувався на простих, але строгих геометричних доведеннях, отже, математика стала основним інтелектуальним знаряддям фізики.

Після Герона й Птолемея (перший відомий більш як механік, а другий як астроном) почався занепад фізики. Замість оригінальних наукових досліджень настав час примітивного використання здобутих знань. Так, римляни із науки грецького періоду в основному засвоїли те, що могло мати пряме практичне застосування, і широко користувалися цим, наприклад, у будівництві. Разом з тим, у Римській імперії була

античних часів. Але в той же час учений відмовився від уявлень давньогрецьких учених, згідно з яким світлові промені випускаються оком. Неспроможність цього він довів за допомогою низки фізико-фізіологічних дослідів, наприклад осліпленням, коли в очі потрапляє сонячне світло. Альхазен говорив, що зоровий образ формується під впливом на око природного світла й колірних променів. (Під природним світлом він розумів біле сонячне світло, а під колірними променями — світло, відбите від кольорових предметів.)



Альхазен

Головним же відкриттям Альхазена стало те, що кожній точці спостережуваного предмета відповідає сприймальна точка ока. Якщо в усіх грецьких фізиків зір розглядається як відчуття образу, сприйняття всього спостережуваного тіла разом, то за Альхазеном, з кожної точки предмета виходить нескінченна кількість променів, і в зіницю потрапляє така сама кількість. При цьому Альхазен обґрунтував свої міркування не тільки за допомогою геометричних побудов, але й користуючись описаними ним дослідями з камерою-обскурою.

Крім робіт з теорії зору відомі праці Альхазена, в яких він експериментально й геометрично розглядав дзеркала різних форм, досліджував заломлення світла, а ще він висловив ідею щодо граничної швидкості світла. Фундаментальні праці з оптики Альхазена в XII столітті були перекладені на латину й поширювалися в рукописах, але широкої популярності тоді не мали. Більш відомим став трактат з оптики Еразма Вітеллія, який вийшов у 70-ті роки XIII століття й де одночасно викладалися уявлення Евкліда, Птолемея й Альхазена.

Слід згадати й про Абу Рейхан Мухаммеда ібн Ахмеда аль-Біруні (973—1048) з Хорезму, який проводив експерименти щодо визначення питомої ваги за допомогою спеціального відливного посуду. Біруні був енциклопедистом. Широко відомими є його дослідження з астрономії й географії, зокрема визначення радіуса Землі, кута нахилу екліптики до екватора, радіуса Землі і т. ін. Також добре відома робота середньоазіатського вченого XII століття Аль Хазіні «Книга про ваги мудрості», у якій докладно описані



Абу Рейхан Мухаммед ібн Ахмед аль-Біруні

застосування закону Архімеда й спеціально сконструйовані ваги. При цьому закон Архімеда застосовується для повітря, простежується також залежність питомої ваги води від температури, пропорційність ваги кількості речовини, що міститься в тілі.

Датується 1269 роком перший рукописний трактат з магнетизму «Про магніти» П. Перегріно (опублікований тільки в 1558 р.) з описом методів визначення полярності магніту, взаємодії полюсів, намагнічування дотиком, явища магнітної індукції, деяких технічних застосувань магнітів тощо. Од-

нак подана Перегріно теорія не витримує ніякої критики, оскільки ґрунтується на астрології.

У XIII столітті францисканський монах Роджер Бекон (1214—1294), який проводив в Оксфорді наукові дослідження, виміряв фокусну відстань сферичного дзеркала й відкрив сферичну аберацію, висунув ідею зорової труби й лінзи як наукового приладу. Він належав до тих учених, які шукали нові шляхи пізнання, і тому різко виступав проти загального захоплення книгами Арістотеля, вважаючи, що науковець не повинен обмежуватися тлумаченням авторитетів. Наука, за Беконом, повинна будуватися на строгих аргументах і точному досліді, що доводить теоретичний висновок. Він сам проводив хімічні й фізичні експерименти, робив астрономічні спостереження, пояснював веселку заломленням світлових променів у краплях води.

У той же час у Венеції були винайдені і набули поширення окуляри. У XIV столітті Альберт Саксонський увів розподіл рухів на поступальний й обертальний, рівномірний й змінний, а також кутову швидкість. Французький математик Н. Орезм уперше дав графічне зображення руху й установив закон рівномірно змінного руху (зв'язок шляху, пройденого тілом, із часом).

І тільки з епохою Ренесансу почалося відродження фізики, яке пов'язують з іменами фундаторів експериментального методу у фізиці — Леонардо да Вінчі й Галілео Галілея (див. також у розділі III). Промислова революція, що відбувалася в той час, запровадження машин у мануфактурне виробництво поставили пе-

Магнетизм — єдиний розділ фізики суто середньовічного походження, який пов'язаний з появою в XI столітті морського компаса — приладу виняткової практичної важливості. Історія компаса починається в Китаї, де ще в II столітті було відомо про властивість намагніченої голки вказувати напрямом на північ. Вочевидь, від китайців про цю властивість стало відомо арабам, і вони використали її в мореплаванні, а потім всі країни Середземномор'я внесли істотний вклад в удосконалювання конструкції компаса, зокрема ввели рухливу картушку.

механічного руху. Такі завдання повною мірою вирішила лише створена в XVII—XVIII століттях класична механіка.

В епоху Відродження (XV—XVI ст.) основними досягненнями стали дослідження вільного падіння й руху тіла, кинутого горизонтально, співударяння тіл, винахід низки механізмів для перетворення й передачі рухів. Тоді зародилася динаміка (з'ясування природи інерції), розпочалося вивчення механізму польоту птахів, відкриття опору середовища й підйомної сили. Леонардо да Вінчі проводив дослідження законів біноккулярного зору. 1543 року вийшла у світ праця Н. Коперника «Про обертання небесних сфер», що містила виклад геліоцентричної системи світу.

У цей період відбувається й інтенсивний розвиток техніки, з'являються більш потужні джерела енергії (водяні й вітряні млини), вогнепальна зброя, більш легкі конструкції в будівництві, кораблі з більшою водотоннажністю, виробництво скла і паперу, відкриваються перші мануфактури тощо. Йоганн Гутенберг (1401—1468) винаходить друкарство окремими вирізними буквами й друкарський верстат. Все це ставило нові проблеми перед природознавством. Розвиток техніки й слабкість університетської «книжкової науки» створили передумови для відновлення науки, що характерно для епохи Відродження. У цей

ред фізикою нові проблеми. Досягнення античної статистики тоді вже були практично вичерпані, і на відміну від техніки стародавності, де в основному використовувалася наука про рівновагу, в техніці мануфактурного періоду важливе місце посіла проблема освоєння й передачі



Леонардо да Вінчі

Леонардо да Вінчі був незнатного походження і тому не мав замолоду можливості познайомитися з академічними латинськими працями свого часу. Але саме через це його творчість не була скута схоластичною наукою, не придушувалася пануванням авторитетів. Це спонукало його до безпосереднього спостереження природи і до її вивчення. Леонардо усвідомлював, що його розуміння світу, досягнуте за допомогою дослідів, більш надійне й правильне, ніж почерпнуте із книг розуміння вчених того часу. Видатний художник казав: «...Хоча я не вмію так, як вони, цитувати авторів, я буду цитувати набагато більш гідну річ — дослід, наставника з наставників».

механічний рух, тертя, хвилі на поверхні води, капілярність, опір повітря, підйомну силу, формування зображення в камері-обскурі й очі. Леонардо довго й уважно вивчав політ птахів, сформулювавши при цьому свідомий метод наукового дослідження, що є однією із його головних наукових заслуг.

Леонардо да Вінчі вважають засновником експериментального методу. Він високо цінував дослід: знання — дочка досліду, — і широко використовував його. Але дослід сам по собі — сирий матеріал, і справа розуму включити його в єдину фізичну концепцію явищ природи й показати, чому він повинен йти саме так. Було багато суперечок щодо впливу Леонардо да Вінчі на наступний розвиток науки. Це було викликано саме тим, що його рукописи не публікувалися до кінця XVIII століття. Однак багато ідей Леонардо містяться в працях великих учених XVI століття: Ніколо Тарталї (1499—1552), Ієроніма Кардана (1501—1576), Джованні Баттісти Бенедетті (1530—1590). Взагалі XVI століття — це століття інтенсивної інтелектуальної діяльності, століття боротьби проти панування авторитетів, особливо авторитету церкви. У цьому ж столітті революційне вчення Коперника викликало резонанс у всьому науковому мисленні.

Успіхи фізики XVI століття здаються незначними, але вони є першими завоюваннями нової культури, що звільняється від пут середньовічних традицій. Тут можна відзначити дослідження криволінійності траєкторії снаряда, що летить (Тарталья), незалежності швидкості падіння тіл від їхньої ваги (Бенедетті), рівноваги тіла на похилій площині (голландський учений Симон Стівен, 1548—1620). Також помітні роботи з оптики італійського вченого

період виникає новий ідеал людини, найбільш яскравим представником якої є Леонардо да Вінчі (1452—1519) — італійський живописець, скульптор, архітектор, учений та інженер. Його наукові праці присвячені математиці, механіці, фізиці, астрономії, геології, ботаніці, анатомії й фізіології людини. Він конструював багато машин, проектував канали, досліджував

Франческо Мавроліка (1494—1575), що розглянув кришталик ока як лінзу й першим досліджував переломлення світла в призмі. В XVI столітті з'явилася підзорна труба, але її випадково створили майстри-ремісники по виготовленню окулярів, а не вчені, бо оптичні теорії того часу не тільки не вели до відкриття труби, а навіть відводили від неї.

У цей період продовжилися також роботи з дослідження магнетизму: були відкриті магнітне відмінювання (Христофор Колумб — 1492 р.) і магнітне схилення (Георг Гартман — 1544 р.). В Італії Порта в сьомій книзі своєї «Натуральної магії» описує оригінальні експериментальні дослідження за допомогою металевих ошурок, використання залізної пластини як магнітного екрану і виявлення зникнення магнітних властивостей при нагріванні магніту. Англійський фізик Вільям Гільберт (1544—1603) при дослідженні магніту сферичної форми зробив висновок про відповідність його магнітних властивостей магнітним властивостям Землі, тобто вперше лабораторні результати зіставляються з явищами космічного масштабу. В 1600 році він видав твір «Про магніт, магнітні тіла й великий магніт — Землю...», де описав свої дослідження магнітних і електричних явищ і побудував перші теорії електрики й магнетизму. Гільберту належить заслуга в зародженні науки про електрику: він виявив і досліджував електризацію низки нових речовин (електризація бурштину була відома ще в античні часи), створив перший електроскоп.

XVI століття збагатило фізику багатьма науковими трактатами. Зокрема, італійський учений Н. Тарталья в трактатах «Нова наука» (1537) і «Проблеми й різні винаходи» (1546) описав криволінійну траєкторію руху артилерійських снарядів. Ф. Мавролик опублікував трактат з оптики, де

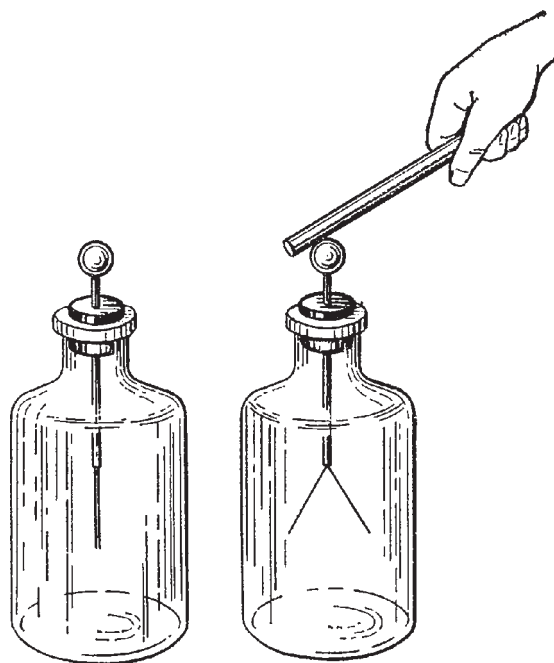


Схема роботи електроскопа

У 1558 році вийшов у світ трактат Дж. Порти «Магія», що містив низку нових оптичних спостережень, зокрема в ньому йшлося про отримання прямих зображень за допомогою ввігнутих дзеркал, застосування камери-обскури з лінзою для виконання й перегляду малюнків.

він розглянув прямолінійне поширення, відбиття й заломлення світла, анатомію ока, пояснив дефекти зору (далекозорість і короткозорість), дію окулярів і лінз тощо

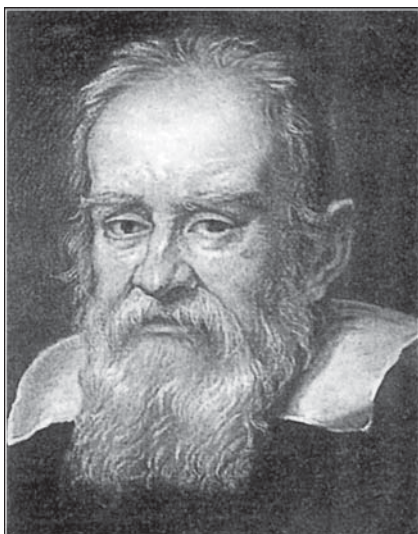
Дж. Бенедетті у той же час відкрив, що в пустоті тіла падають із однаковою швидкістю й довів гідростатичний парадокс про однаковий тиск рідини на дно посудини незалежно від її форми. А праця Н. Коперника «Про обертання небесних сфер» (1543), яка містила виклад геліоцентричної системи світу, дала змогу з нової точки зору подивитися на природу та її закони.

До головних відкриттів у фізиці треба віднести і висловлену Дж. Бруно в праці «Діалог про нескінченність Всесвіту і світи» (1584), ідею про єдність законів природи, а також про нескінченність Всесвіту, про існування в ньому, крім сонячної, інших планетних систем, про можливість відкриття нових планет у нашій сонячній системі та про обертання Сонця й зірок навколо осі. Наприкінці XVI століття були відкриті закони ізохронності коливань маятника та вільного падіння. До того ж часу належить винахід підзорної труби й термометра (термоскопа). У 1586 світ побачив трактат С. Стевіна «Початки статики», у якому вчений виклав принцип неможливості вічного руху, оригінально довів, за яких умов тіло на похилій площині перебуває в стані рівноваги, відкрив закон додавання сил (паралелограм сил) і закон розкладання сили на дві складові, які перпендикулярні одна одній. Цей останній закон був сформульований для поодинокого випадку можливих переміщень.

Повністю фізика як наука відродилася лише у XVII столітті, коли розпочалося системне застосування експериментального методу у природознавстві. Провідна роль тут належить італійському фізику і астроному Галілео Галілею (1564—1642). Галілей залишив у спадок свої праці в галузі механіки, оптики, молекулярної фізики, установив закони вільного падіння, руху тіл по похилій площині, додавання рухів, ізохронізму маятника, сформулював принцип інерції й відносності. Він перший побудував підзорну трубу — перший телескоп, за допомогою якого зробив астрономічні відкриття. Йому також належить і першість у створенні мікроскопа, термоскопа та у визначенні питомої ваги повітря. Галілей висунув ідею про кінцеву швидкість світла й запропонував спосіб її виміру. За те, що він відстоював вчення Коперника про геліоцентричну систему, його засудили інквізицією в 1633 році, і

він був змушений відмовитися від своїх переконань.

Галілей із самого початку наукової діяльності (в 1589 р. він був призначений професором математики) виявляв незалежність свого мислення. У трактаті «Про рух» (1590) він виступає проти Арістотелевих позицій. Його доведення базуються на чітких експериментальних даних. Галілей, як і багато вчених того часу, працював у багатьох галузях фізики й не тільки фізики. До найбільш істотних його результатів слід віднести відкриття законів руху. Це є вершиною досягнень Галілея. Він заклав два наріжних камені сучасної динаміки: принцип інерції й класичний принцип відносності.



Галілео Галілей

Головною ж заслугою Галілея є те, що він увів у дослідження новий спосіб мислення, використовував повною мірою експериментальний метод. Його поряд з Леонардо вважають основоположником експериментального методу у фізиці. При цьому Галілей ніде не наводить абстрактного викладення цього методу. Але суть його можна простежити в конкретних постановках і обговоренні досліджень окремих явищ природи. При цьому можна виокремити чотири основні фази дослідження:

- сприйняття явища, чуттєвий досвід;
- аксіома або робоча гіпотеза з критичним розглядом результатів чуттєвого досвіду;
- математичний розвиток, знаходження логічних наслідків із прийнятої гіпотези;
- дослідна перевірка, вищий критерій на всьому шляху до відкриття.

У часи Галілея був і інший напрямок фізики, одним із представників якого був французький філософ, фізик, математик і фізіолог Рене Декарт (1596—1650). Йому належать роботи в галузі механіки, оптики й будови Всесвіту. Він увів поняття кількості руху, сформулював закон його збереження (але без урахування того, що швидкість — вектор). Декарт прагнув побудувати загальну картину природи, у якій всі явища пояснювалися б як результат

руху великих і малих часток, утворених з єдиної матерії. Він був основоположником раціоналізму в теорії пізнання, і вважав, що головну роль при оцінці результатів наукових досліджень відіграє людський розум.

За Декартом, мета фізика полягає в тому, щоб зробити людей «господарями й хазяїнами природи». Декарт уважав, що фізика повинна відповідати на запитання, чому відбуваються явища, а за Галілеєм — повинна досліджувати, як вони відбуваються.

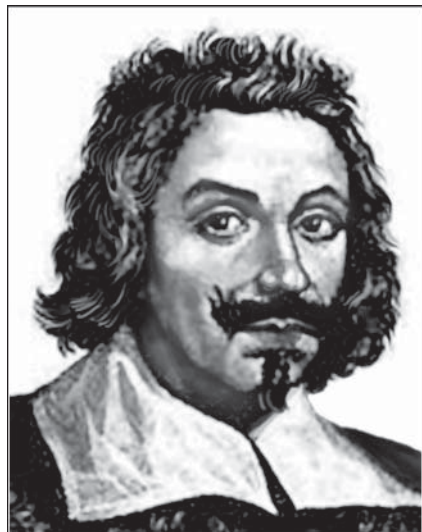
Вчення Галілея поширювалося в Європі, його «Механіка» в 1634 році була перекладена французькою мовою. Таким чином, у Галілея з'явилися послідовники, серед яких були не тільки його безпосередні учні.

Із прямих учнів Галілея найблискучішим був італійський фізик і математик Еванджеліста Торрічеллі (1608—1647) — придворний математик герцога Тосканського й професор математики й фізики Флорентійського університету. Він разом з іншим учнем Галілея Вінченцо Вівіані продовжив його роботи, в яких йшлося про доведення того, що повітря є матерією, яка має вагу, а не пустотою. До Торрічеллі й Вівіані примкнуло ще кілька ентузіастів. Із цього гуртка й народилася знаменита Флорентійська академія досліду, що набула офіційного статусу 1657 року, через десять років після смерті Торрічеллі.

Уже в римський період життя (1626—1641) Торрічеллі стояв на порозі фундаментального відкриття — відкриття тиску повітряного океану, але захопився динамікою, балістикою та гідравлікою.

Саме тому спочатку він набув слави як фундатор гідравліки і тільки в 1643 році повернувся до дослідження повітря. Йому спало на думку виміряти вагу атмосфери вагою ртутного стовпа. Дослід виправдав усі сподівання, ртуть зупинилася на заданій висоті, над нею утворилася так звана «торрічеллієва пустота».

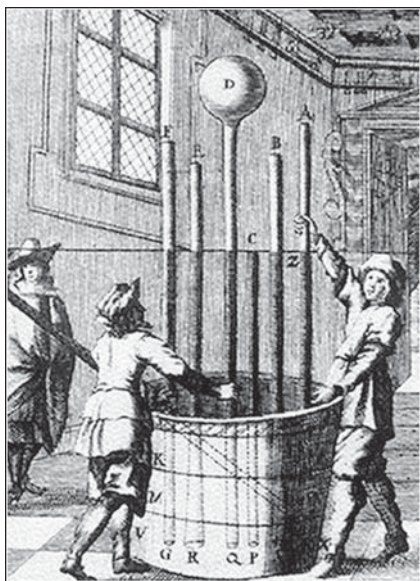
Пізніше Торрічеллі повторив дослід із двома трубками, про що повідомляє в листі до італійського математика Річчі від 11 червня 1644 року, який залишився єдиним свідченням про знамениті досліди. Ось виписки із цього листа: «...Багато



Еванджеліста Торрічеллі

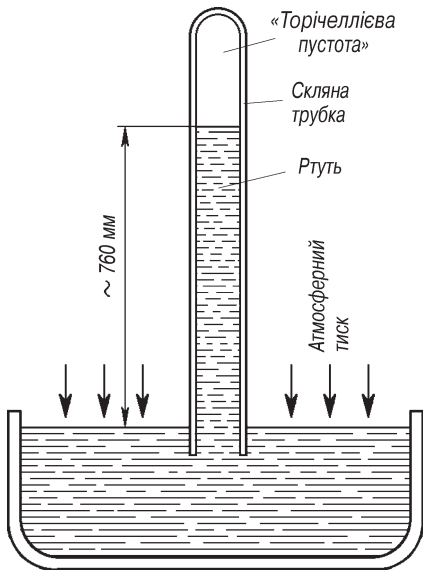
хто стверджує, що пустота взагалі не існує; інші ж говорять, що її можна одержати лише подоланням опору природи та ще й з превеликою силою. Я думаю, що в усіх випадках, коли при одержанні пустоти явно виявляється протидія, немає потреби приписувати пустоті те, що, мабуть, зумовлене зовсім іншою причиною. Кажу так тому, що деякі вчені, коли бачать неможливість заперечувати факт протидії, що проявляється внаслідок ваги повітря при утворенні пустоти, не приписують цього опорі тиску повітря, а завзято стверджують, що сама природа перешкоджає утворенню пустоти. Ми живемо на дні повітряного океану, і досліди з безсумнівністю доводять, що повітря має вагу...

Нами було виготовлено багато скляних пляшечок із трубкою довжиною у два лікті; ми наповнювали їх ртуттю, притримуючи отвір пальцем; коли потім трубки перекидали в чашку із ртуттю, вони ставали порожніми, але лише частково: кожна трубка залишалася наповненою ртуттю до висоти ліктя й одного пальця. Бажаючи довести, що пляшечка (у верхній частині трубки) зовсім порожня, у підставлену чашку доливали воду, і тоді, при поступовому підніманні трубки, можна було бачити, що, як тільки її отвір опинявся у воді, із трубки виливала ртуть, і вся пляшечка, до самого верху, стрімко наповнювалася водою. Отже, пляшечка порожня, ртуть же тримається в трубці. Дотепер уважали, що сила, яка втримує ртуть від природного прагнення опускатися, перебуває всередині верхньої частини трубки — у вигляді пустоти або досить розрідженої матерії. Я не стверджую, що причина знаходиться поза посудиною: на поверхню рідини в чашці тисне повітряний стовп заввишки 50×3000 кроків — не дивно, що рідина входить усередину скляної трубки (до якої вона не має ні притягання, ні відштовхування) і піднімається доти, поки не зрівноважиться тиском зовнішнього повітря. Во-



Дослід Торрічеллі

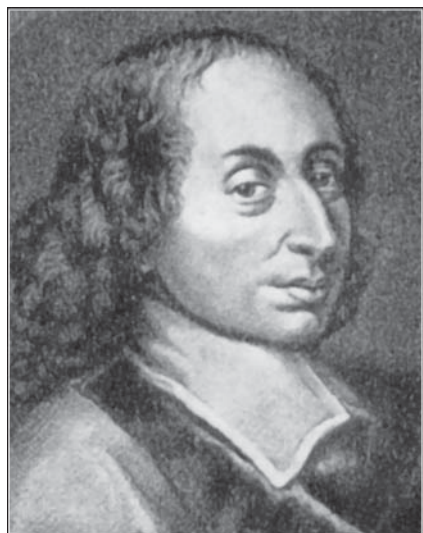
Торрічеллі вдосконалив повітряний термоскоп Галілея, переробивши його на спиртовий термометр, і перший пояснив появу вітру змінами атмосферного тиску.



Трубка Торрічеллі — перший барометр

Таким чином, трубка Торрічеллі стала першим барометром. Саме із цього дослідів почалося наукове спостереження за погодою, найважливішими характеристиками якої є тиск і температура.

Слід зазначити, що експеримент Торрічеллі не був бездоганим. Дана ним висота ртутного стовпа, якщо взяти до уваги



Блез Паскаль

да ж піднімається в подібній, але в набагато довшій трубці у стільки разів вище, у скільки разів ртуть важча за воду...»

Для повної переконливості Торрічеллі поставив дослід із двома трубками. Він хотів показати, що ртуть не втримується ніяким тяжінням або відштовхуванням, а форма простору над ртуттю не має ніякого значення, й справа тільки в зовнішньому тиску повітря.

Торрічеллі зміг знайти ще більш важливі факти, які доводять зовнішній характер причини утворення ртутного стовпа. Вчений помітив, що висота стовпа зазнавала коливань, тобто тиск атмосфери мінявся. Та-

ким чином, трубка Торрічеллі стала першим барометром. Саме із цього дослідів почалося наукове спостереження за погодою, найважливішими характеристиками якої є тиск і температура.

Слід зазначити, що експеримент Торрічеллі не був бездоганим. Дана ним висота ртутного стовпа, якщо взяти до уваги висоту Флоренції над рівнем моря, відповідає 74,2 сантиметра ртутного стовпа. Невелике значення цієї величини, вочевидь, можна пояснити тим, що в «торрічеллієвій пустоті» залишалася ще якась кількість повітря.

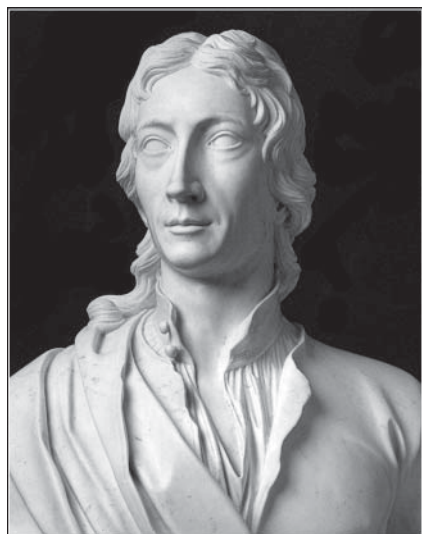
Отже, основним досягненням Торрічеллі є відкриття й дослідження атмосферного тиску, що викликало великий резонанс серед фізиків. Він також фактично відкрив закон про поширення тиску газу в усі боки, що остаточно сформулював французький математик, фізик і філософ Блез Паскаль (1623—1662). Основні

Паскаль, який рано виявив видатні математичні здібності, являє класичний приклад геніальності отроків. Зовсім малий, він розмірковував про «високі матерії», справляв на оточуючих враження крихтної дорослої людини, а ще він вражав своїми короткими, досить точними відповідями, а ще більше — питаннями про природу речей. А вже у 18-літньому віці Блез винайшов лічильну машину — «бабусю» майбутніх арифмометрів. Юний конструктор записав, не знаючи ще, що думка його на століття випереджає свій час: «Обчислювальна машина виконує дії, що наближаються до думки більше, ніж усе те, що роблять тварини». Машина принесла йому популярність. Його формули й теореми могли оцінювати лише лічені люди, а тут машина — подумати тільки — рахує сама! Юрби людей квапилися в Люксембурзький сад, щоб подивитися на диво-машину, про неї складали вірші, їй приписували фантастичні можливості. Так Блез Паскаль став знаменитою людиною.

наукового пізнання, розвинув поняття «філософія розуму» і «філософія серця». На його честь названа одиниця тиску — паскаль.

Ще одним із послідовників Галілея і Торрічеллі був англійський хімік, фізик і філософ, член Лондонського королівського товариства Роберт Бойль (1627—1691). Він провадив фундаментальні експерименти з повітрям: визначення ваги повітря, вимір ступеня розрідження повітря, доведення неможливості без повітря горіння, життя, поширення звуку. Йому належать фізичні праці в області молекулярної фізики, світлових і електричних явищ, гідростатики, акустики, теплоти, механіки. В 1660 році він удосконалив повітряний насос Геріке, встановив нові факти, які виклав у «Нових фізико-хімічних дослідях, що стосуються пружності повітря». Показав залежність точки кипіння води від ступеня розрідження навколишнього повітря й довів, що підйом рідини у вузькій трубці не пов'язаний з атмосферним тиском. В 1661 році вчений відкрив закон Бойля, сконструював барометр і ввів назву «барометр». Зробив перші дослідження пружності твердих тіл, був прихильником атомізму. В 1663 році він відкрив кольорові кільця в тонких шарах, що увійшли в науку як кільця Ньютона, а в 1661 році сформулював поняття хімічного елемента й увів у хімію експериментальний метод, заклавши початок хімії як науки.

його фізичні роботи стосуються гідростатики, де в 1653 році він сформулював один із фундаментальних її законів про повну передачу рідиною тиску, що діє на неї (закон Паскаля), і встановив принцип дії гідростатичного преса. Також він висловив ідею про залежність атмосферного тиску від висоти, відкрив залежність тиску від температури й вологості повітря й запропонував використовувати барометр для прогнозування погоди. В галузі філософії Паскаль чітко сформулював основні тези



Роберт Бойль

Довідавшись із наукових публікацій про роботи німецького фізика Отто Геріке, Бойль вирішив повторити його експерименти й для цього винайшов оригінальну конструкцію повітряного насоса, що був побудований за допомогою Гука. Дослідники майже повністю видалили насосом повітря. Однак всі спроби довести присутність ефіру в порожній посудині залишалися марними. «Ніякого ефіру не існує», — зробив висновок Бойль. Пустий простір він вирішив назвати вакуумом, що латиною означає «пустий».

Знання механіки виклав у своїй книзі «Математичні початки натуральної філософії». Але все ж таки деякі базові відкриття були зроблені ще задовго до народження Ньютона. Ще в першій половині IV століття до нашої ери Архіт Тарентський увів у математику механічні методи і сформулював перші теорії важеля, ваг, гвинта, безміна, колеса, блока та клина. Запропонована ним методика була згодом розширена найвизначнішим механіком античності Архімедом.

Коли Бойль відкрив свій закон про залежність об'єму повітря від тиску, то значення його він сам спочатку не зрозумів. Аналогічні дослідження незалежно провів настоятель монастиря в Діжоні Едм Маріотт (1620—1684), який опублікував свої спостереження в 1676 році у праці «Про природу повітря». Тому цей закон називають законом Бойля—Маріотта. Заради справедливості, слід сказати, що закон мав би носити ім'я чотирьох учених, бо в роботі Бойля брали участь також молоді фізики Роберт Гук та Річард Таунлі, і саме Таунлі сформулював закон Бойля на підставі багатьох експериментів. Але Бойлю належить ідея експериментів.

Класична фізика «Механе» — мистецтво побудови машин

Говорячи про формування класичної фізики, природно було б у першу чергу сказати про батька класичної механіки в її сучасному вигляді — Ньютона. Саме в механіці Ньютон досяг вершин своєї творчості, узагальнив усі дослідження попередників і основні поло-

У своїх дослідженнях в галузі фізики Архімед передусім вивчав проблеми статички. Розробка будівельної й військової техніки була якнайтісніше пов'язана з питаннями рівноваги й підводила до формулювання поняття центра ваги. Сконструйовані на основі дії важеля машини (від грецької «механе») допомагали йому «перехитрити» природу.

Архімед не був замкнутою людиною. Він прагнув зробити свої досягнення загальновідомими й корисними суспільству. І завдяки його любові до ефектних демонстрацій люди вважали роботу вченого потрібною, правителі надавали йому кошти для дослідів, а сам він завжди мав зацікавлених у справі й розумних помічників. Тим своїм співгромадянам, які визнавали його винаходи незначними, Архімед рішуче доводив супротивне. Так, в один із днів він, хитромудро приладнавши важіль, гвинт і лебідку, на подив роззявам, «силою однієї людини» витягнув на воду важку галеру, що сіла на міліну, з усім її екіпажем і вантажем.

Великий учений, гаряче захоплений механікою, створив і перевірів теорію п'яти механізмів, відомих на його час як «прості». Це — важіль, клин, блок, нескінченний гвинт (тепер використовуваний у м'ясорубці) і лебідка. На основі нескінченного гвинта Архімед винайшов машину для поливання полів, так званого «равлика», машину для відкачування води із трюмів і шахт і нарешті прийшов до винаходу болта, сконструювавши його із гвинта й гайки. Багато давніх істориків, учених і письменників розповідають ще про одне дивовижне «відкриття» Архімеда, що змусило його радісно вигукнути: «Дайте мені місце, де б я міг стояти, і я підніму Землю!» («Математична бібліотека» Паппа). Подібний за змістом текст є в Плутарха: «Дайте мені точку опори, і я зрушу Землю». У жодній з розповідей це «відкриття» не назване, але нині у ньому вбачають не звичайний важіль, а механізм, близький до лебідки, що складався з барабана для намотування каната, кількох зубчастих передач і черв'ячної пари. Новим тут був сам принцип побудови багатоступінчастої передачі.

Під час осади Сиракуз римлянами Архімед один організував оборону міста. Сухопутній армії він протиставив різноманітні військові машини для метання дротиків, списів та величезних каменів. Підійти до міста з моря теж стало неможливо. Історик Плутарх писав: «...Раптом з високих стін опускалися на судна колоди і внаслідок своєї ваги й доданої швидкості топили їх. А то залізні пазурі й дзьоби захоплювали судна, піднімали їх у повітря носом догори, кормою вниз і потім занурювали у воду. А то судна починали обертатися й, кружляючи, потрапляли на підводні камені й стрімчаки біля підніжжя стін. Більша частина людей на судах

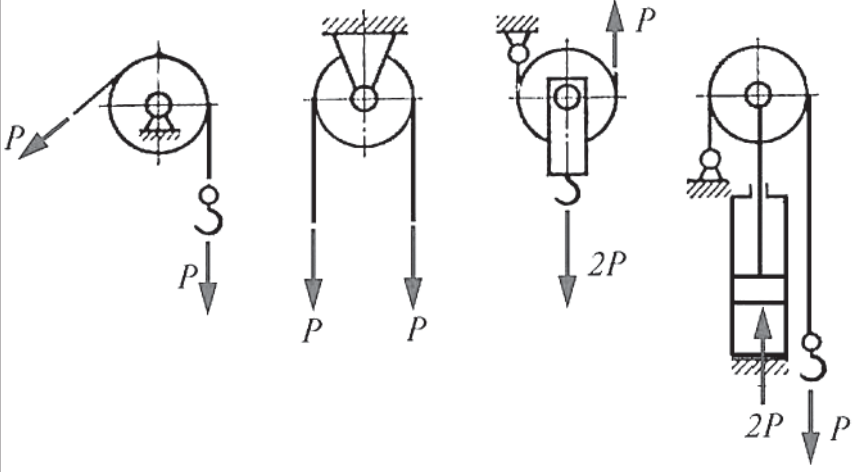


Схема блоків

гинула від удару. Щохвилини бачили яке-небудь судно піднятим у повітря над морем. Страшне видовище!..»

Спроба Марцелла протиставити техніці Архімеда римську військову техніку зазнала поразки. Архімед розбив величезними каменями облогову машину «самбуку». Крім того, за наказом винахідника опускалася залізна лапа, прив'язана до ланцюга. Цією лапою машиніст, що управляв дзьобом машини як кермом корабля, захоплював ніс корабля, а потім опускав униз інший кінець машини, що перебувала всередині міських стін. В описах військових машин постійно фігурують залізні «лапи», «дзьоби» і «пазури», у яких учені вбачають попередників кліщів, що самі затягуються, сучасних маніпуляторів і підйомних кранів. Причому машини були пересувними, мали стрілу, що оберталася навколо вертикальної осі, і кожною керував єдиний машиніст. Ні до, ні після Архімеда ніхто таких унікальних військових машин не використовував.

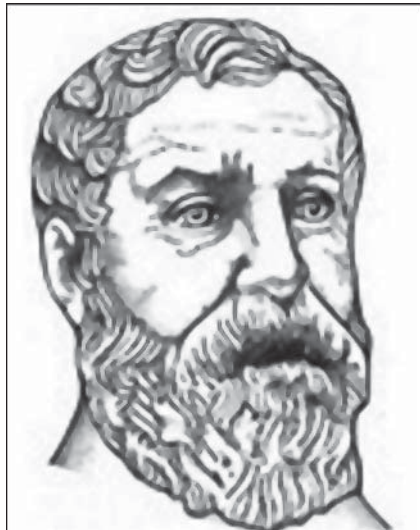
Для александрійської механіки характерним є інтерес до вивчення простих механізмів, стисненого повітря. Там були проведені також роботи зі створення бойових машин, що було узагальнено в роботі «Механіка» Філона Візантійського (бл. 250 р. до н. е.). Там же він виклав основні положення теорії важеля та теорії автоматів, зробив опис деяких військових машин і багатьох механічних іграшок «автоматичного театру», що був заснований на принципах пневматики. Філон також висловив ідеї про теплове розширення повітря, термоскоп. Але цю роботу затьмарив Герон Александрійський (бл. I ст. н. е.), що створив двотомну працю з пневматики, а також свою «Механіку» — своєрідну енциклопедію

античної техніки. У цій книжці докладно описані прості (коловорот, клин, важіль, блок і гвинт) і більш складні механізми, у «Пневматиці» — механізми з використанням нагрітого або стисненого повітря й пари. У двох інших працях Герона «Діоптрі» та «Катоптриці» відповідно викладені будова пристрою для вимірювання кутів і пройденого шляху та ідея про найкоротший шлях світлового променя при відбитті.

Так поступово механіку почали сприймати як науку про прості машини. Грекам були відомі прості механізми, зубчасті передачі, гідростатика, застосування сифонів, стисливість повітря, рушійна сила пари. Відомий був і винахід Герона — еолопіл — перша модель парової турбіни. Античні греки володіли й технічними знаннями, і науковим розумінням, щоб створити індустріальні машини. Однак до цього не доходило, а все залишалося лише на рівні різних механічних «фокусів», іграшок для розваги й одиничних прикладів військового застосування, тобто суспільство ще не дозріло до серійного перетворення знань на техніку.

Геній епохи Відродження Леонардо да Вінчі казав: «Механіка — рай математичних наук». Він багато часу й енергії віддав її вивченню. Праці Леонардо в галузі механіки можуть бути згруповані за такими розділами: закони падіння тіл; закони руху тіла, кинутого під кутом до обрію; закони руху тіла по похилій площині; вплив тертя на рух тіл; теорія найпростіших машин (важіль, похила площина, блок); питання додавання сил; визначення центра ваги тіл; питання, пов'язані з опором матеріалів. Перелік цих питань справляє ще більше враження, якщо взяти до уваги, що багато з них розглядалися взагалі вперше. За Арістотелем, наприклад, тіло, кинуте під кутом до обрію, повинно летіти по прямій, а наприкінці підйому, описавши дугу кола, падати вертикально вниз. Леонардо да Вінчі довів, що траєкторією руху в цьому разі буде парабола.

Він висловлював багато цінних думок, що стосувалися збереження руху, підходячи впритул до закону інерції. Леонардо знав і використовував у своїх працях метод розкладан-



Герон Александрійський

ня сил. Для руху тіл по похилій площині він увів поняття про силу тертя, зв'язавши її із силою тиску тіла на площину й правильно вказавши напрямок цих сил.

Дуже характерно для механіки Леонардо да Вінчі прагнення вникнути в суть коливального руху. Він наблизився до сучасного трактування поняття резонансу, говорячи про зростання амплітуди коливань при збігу власної частоти системи із частотою зовні.

Леонардо да Вінчі вперше й багато займався питаннями польоту. Перші дослідження, малюнки й креслення, присвячені літальним апаратам, належать приблизно до 1487 року. У першому літальному апараті застосовувалися металеві частини; людина розташовувалася горизонтально, приводячи механізм у рух руками й ногами. Надалі Леонардо замінив метал деревом і очеретом, мотузки — твердими передачами, а людину розташував вертикально. Він прагнув звільнити руки людини: «Людина у своєму літальному апараті повинна зберігати повну волю рухів від пояса й вище... У людини запас сили в ногах більший, ніж потрібно за його вагою». Однак відсутність упевненості в тому, що цієї сили досить для вдалого польоту в будь-яких умовах, привела його до думки про використання пружини як двигуна й про планер, за допомогою якого можна здійснити якщо не повний політ, то хоча б ширяння в повітрі. Леонардо побудував модель планера й готував його випробування, але смерть зупинила пошуки. Прагнення забезпечити людину в процесі цих випробувань спонукало да Вінчі

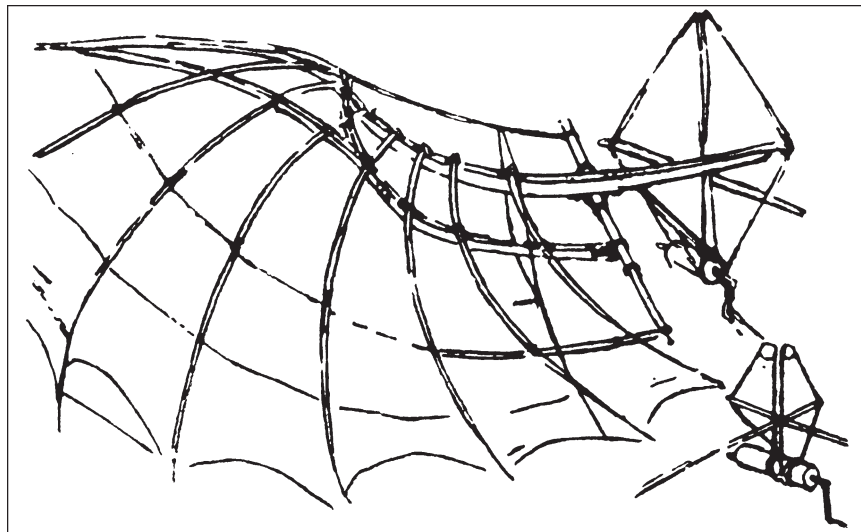


Схема крила літального апарата за проектом Леонардо да Вінчі

Леонардо критикував тих, хто прагнув створити вічний двигун: «О, шукачі вічного руху, скільки порожніх проектів створили ви в подібних пошуках! Ідіть геть разом із алхіміками — шукачами золота. Неможливо, щоб вантаж, який опускається, міг підняти протягом якогось часу інший, йому рівний, на ту саму висоту, з якої рушив».

й до винаходу парашута. Йому також належать перші креслення танка, підводного човна, гвинтокрила і телескопічної драбини (як на пожежних машинах).

Наступною віхою у розвитку механіки стали принципові положення, викладені у двох славетних працях Галілео Галілея: «Діалог про дві найголовніші системи світу — Птолемеєву і Коперникову», що вийшла у Флоренції 1632 року, і «Бесіди й математичні доведення, що стосуються двох нових галузей науки, які належать до механіки й місцевого руху» (в ті часи під механікою розуміли рух небесних тіл), опубліковану в Лейдені в 1638 році. У цих працях він остаточно розвінчав послідовників Арістотеля. Тут же з'явилися міркування про скінченну величину швидкості світла, і розглядався спосіб її вимірювання. В останній роботі вже математично чітко формулюються закони рівнозмінного руху: пропорційність швидкості часу руху, квадратична залежність шляху від часу, принцип додавання переміщень, параболічність траєкторії кинутого тіла.

Великий італійський учений вважається фундатором механіки. Він експериментально відкрив кількісний закон падіння тіл у пустоті, закони руху важких тіл по похилій площині. Він довів, що на горизонтальній площині важке тіло перебуватиме в спокої або рухатиметься рівномірно й прямолінійно. Тим самим він сформулював закон інерції. Складаючи горизонтальний й вертикальний рухи тіла (це було перше в історії механіки додавання кінцевих незалежних рухів!), Галілей довів, що тіло, кинуте під кутом до обрію, описує параболу, і показав, як розрахувати довжину польоту й максимальну висоту траєкторії. При всіх своїх висновках він завжди підкреслював, що йдеться про рух за відсутності опору.

У діалогах про дві системи світу дуже образно, у формі художнього опису, Галілей показав, що всі рухи, які можуть відбуватися в каюті корабля, не залежать від того, чи перебуває корабель у спокої, чи рухається прямолінійно й рівномірно. Цим він установив принцип відносності класичної механіки (так званий принцип відносності Галілея—Ньютона). В окремому випадку сили ваги Галілей тісно пов'язував сталість ваги зі сталістю прискорення падіння, але тільки Ньютон, увівши поняття маси, дав точне формулювання зв'язку між силою й прискоренням (другий закон Ньютона). Досліджуючи умови рівноваги простих машин і плавання



Титульний аркуш книги Г. Галілея «Діалог про дві системи світу — Птолемеєву і Коперникову»

тіл, Галілей, по суті, в зародковій формі застосував принцип можливих переміщень. Йому ж наука зобов'язана першим дослідженням міцності балок і опору рідини тілам, що рухаються в ній.

Французький геометр і філософ Р. Декарт висловив плідну ідею збереження кількості руху. Він застосував математику до аналізу руху і, вводячи в неї змінні величини, встановив відповідність між геометричними образами й алгебричними рівняннями. Але він не помітив того істотного факту, що кількість руху є величиною спрямованою,

і складав кількості руху арифметично. Це призвело його до помилкових висновків і знизило значення даних ним застосувань закону збереження кількості руху, зокрема до теорії удару тіл.

Послідовником Галілея в галузі механіки був голландський фізик, механік, математик і астроном, член Паризької АН, перший іноземний член Лондонського королівського товариства Хрiстiан Гюйгенс (1629—1695). Саме він розвивав у подальшому поняття прискорення при криволiнійному русi точки (доцентрове прискорення). Гюйгенс також вирішив ряд найважливіших задач динаміки — рух тіла по колу, коливання фізичного маятника, закони пружного удару. Він перший сформулював поняття доцентрової й відцентрової сили, моменту iнерцiї, центра коливання фізичного маятника. Але основна його заслуга полягає в тому, що він перший застосував принцип, по суті еквівалентний принципу живих сил (центр ваги фізичного маятника може піднятися тільки на висоту, що дорiвнює глибинi його падіння). Користуючись цим принципом, Гюйгенс розв'язав задачу про центр коливання ма-

Продовжуючи Галілеєве відкриття ізохронізму маятника, Гюйгенс розробив конструкцію маятникового годинника (1657 р.). У 1673 році у Парижі був опублікований науковий шедевр ученого «Коливні годинники, або Про рух маятника», у якому описано крім годинників рух тіл по циклоїдній кривій, рух кругового маятника, відцентрову силу. Гюйгенс першим дійшов висновку про сплюсненість Землі біля полюсів і висловив ідею про вимірювання прискорення вільного падіння за допомогою секундного маятника.

практичне застосування, до більшості вчених ставилися як до еретиків. Фізика — складна наука. А все незрозуміле викликає в пересічній людини протест. І тільки Ньютон досяг визнання як у прихильників, так і в супротивників своїх ідей. Змінився час, і суспільству, і людству довелося визнати: фізика доступна не всім, але її сила не в доступності, а в істинності. Стало зрозуміло, що бути розумним означає не тільки все розуміти, але й бути здатним визнавати, що чогось не розумієш. Ньютон створив диво — зібрав зі строкатих шматків знань могутню теорію — теоретичну механіку. Як інструмент він використовував диференціальне й інтегральне числення. Як сказав один із фізиків, теоретична механіка — це єдина істина, на яку треба молитися. Саме після Ньютона фізика почала всерйоз розвиватися.

Ньютонові належить заслуга формулювання основних законів динаміки. У своїх «Основах» він сформулював три закони руху, узагальнивши при цьому принцип інерції й поняття сили, ввів поняття маси й поширив дію законів механіки на весь Всесвіт. Наведемо їх.

Перший закон Ньютона (закон інерції): Існують такі системи відліку, відносно яких поступальний рух тіла зберігає свою швидкість незмінною, коли на них не діють інші тіла.

Другий закон Ньютона: Сила, що діє на тіло, дорівнює добутку маси тіла на додане цій силі прискорення.

Третій закон Ньютона: Тіла діють одне на одне з силами, що спрямовані вздовж однієї прямої, рівними за модулем і протилежними за напрямком.

Якщо оптиці Ньютона, про що йтиметься далі, властиві геніальність постановки й різнобічність дослідів, то в механіці його талант виявився, насамперед, в упорядкуванні й узагальненні результатів попередників. Так, закон всесвітнього тяжіння був

ятника — першу задачу динаміки системи матеріальних точок. Виходячи з ідеї збереження кількості руху, він створив повну теорію удару пружних куль.

Слід визнати, що, незважаючи на суттєві відкриття в галузі механіки, які до того частково знайшли прак-

Легенда розповідає: був літній день. Ньютон любив міркувати, сидячи в саду, на свіжому повітрі. Його роздуми були перервані падінням стиглого яблука. Знамениту яблуню довго зберігали, поки вона не всохла. А потім дерево зрубали й перетворили на історичну пам'ятку у вигляді лави.

характеристику гравітаційної взаємодії. І все-таки геніальні узагальнення в механіці навряд чи були б можливими, якби Ньютон не мав досвіду експериментатора, загальної фізичної культури, якої він набув під час досліджень в оптиці.

У 1666 році в Кембриджі розпочалася епідемія чуми, і Ньютон виїхав у свій рідний Вульсторп. Тут, у сільській тиші, не маючи під рукою ані книг, ані приладів, живучи майже як пустельник, 24-річний Ньютон вдався до глибоких філософських роздумів. Їх результатом стало найгеніальніше з його відкриттів — вчення про всесвітнє тяжіння. Ньютон давно міркував про закони падіння тіл, і, можливо, що, зокрема, падіння яблука знову наштовхнуло його на ці думки, що спровокувало запитання: чи скрізь на земній кулі падіння тіл відбувається однаково? Так, наприклад, чи можна стверджувати, що у високих горах тіла падають з такою самою швидкістю, як і в глибоких шахтах?

Але падіння яблука було лише останньою краплею. Сам Ньютон писав через багато років, що математичну формулу закону всесвітнього тяжіння він вивів з вивчення знаменитих законів Й. Кеплера. Можливо також, що його роботу в цьому напрямку значно прискорили дослідження, які він проводив в галузі оптики. Закон, яким визначається «сила світла» або «ступінь висвітлення» даної поверхні, досить схожий з математичною формулою тяжіння. Прості геометричні міркування й прямий дослід показують, що при віддаленні, наприклад, аркуша паперу від свічі на подвійну відстань ступінь висвітлення поверхні паперу зменшується, і не вдвічі, а в чотири рази, при потрібній відстані — у дев'ять разів і так далі. Це і є закон, що за часів Ньютона називали коротко законом «квадратної пропорції». Якщо сформулювати точніше, то «сила світла обернено пропорційна квадратам відстаней». Досить природно було для людини з таким розумом, як у Ньютона, спробувати застосувати цей закон до теорії тяжіння.

Один раз вирішивши, що притягання Місяця Землею визначає рух земного супутника, Ньютон неминуче прийшов до подібної ж гіпотези щодо руху планет навколо Сонця. Але розум його

сформульований на основі існуючих на той час експериментальних даних про рух планет, які містили тільки кінематичний опис, а Ньютон розкрив причину такого руху, ввівши кількісну

Закон всесвітнього тяжіння: всі тіла притягуються одне до одного; сила всесвітнього тяжіння прямо пропорційна добутку маси тіл й зворотно пропорційна квадрату відстані між ними.

щення перетворилися на грандіозну систему світобудови.

При цьому Ньютон ніколи не зміг би розвинути й довести свою геніальну ідею, якби не володів могутнім математичним методом, відомим сьогодні як диференціальне й інтегральне числення.

Значний внесок у розвиток фізики як науки зробив і Роберт Гук. Так, Гук уточнив висновок Ньютона і написав йому, що падаючі тіла відхиляються не на схід, але на південний схід. Той погодився з Гуком, який підтвердив свою теорію експериментально.

Гук виправив і іншу помилку Ньютона, який вважав, що падаюче тіло, внаслідок з'єднання його руху з рухом Землі, опише гвинтоподібну лінію. Гук довів, що гвинтоподібна лінія виходить лише в тому разі, якщо взяти до уваги опір повітря, й що в пустоті рух має бути еліптичним — йдеться про істинний рух, тобто такий, який ми могли б спостерігати, знаходячись не на Землі, а, наприклад, у космосі.

Перевіривши висновки Гука, Ньютон переконався, що тіло, кинуте з достатньою швидкістю, перебуваючи в той же час під впливом сили земного тяжіння, дійсно може описати еліптичну криву. Міркуючи над цим, Ньютон відкрив славнозвісну теорему, за якою тіло, що перебуває під впливом притягальної сили, подібної до сили земного тяжіння, завжди описує який-небудь конічний перетин, тобто одну з кривих, які утворюються при перетинанні конуса площиною (еліпс, гіпербола, парабола й в окремих випадках коло й пряма лінія). Крім того, Ньютон визначив, що центр тяжіння тіла, тобто точка, до якої прикладена рівнодійна всіх притягальних сил, які діють на тіло, що рухається, перебуває у фокусі описуваної кривої. Так, центр

не могли задовольнити неперевірені гіпотези. Він почав робити обчислення, і знадобилися десятки років для того, щоб його припу-



Роберт Гук

Сонця перебуває (приблизно) в загальному фокусі еліпсів, описуваних планетами.

Досягши таких результатів, Ньютон відразу побачив, що він вивів теоретично, тобто виходячи з початків раціональної механіки, один із законів Кеплера, який свідчить про те, що центри планет описують еліпси й що у фокусі їхніх орбіт перебуває центр Сонця. Але Ньютон не вдовольнився цим основним збігом теорії зі спостереженням. Він хотів переконатися, чи можливо за допомогою теорії дійсно обчислити елементи планетних орбіт, тобто передбачити всі подробиці планетних рухів? Спочатку йому не пощастило. Лише в 1682 році Ньютон зміг використати більш точні дані при вимірюванні меридіана, які отримав французький учений Ж. Пікар. Знаючи довжину меридіана, Ньютон обчислив діаметр земної кулі й негайно ввів нові дані у свої колишні обчислення. На превелику свою радість вчений переконався, що його давні міркування повністю підтвердилися. Сила, що змушує тіла падати на Землю, виявилася рівною тій, яка управляє рухом Місяця.

Цей висновок був для Ньютона найвищим торжеством його наукового генія. Тепер цілком виправдалися його слова: «Геній є терпіння думки, зосередженої у відомому напрямку». Всі його глибокі гіпотези, багаторічні обчислення були вірними. Тепер він повністю і остаточно переконався в можливості створити цілу систему світобудови, засновану на одному простому й великому початку. Всі найскладніші рухи Місяця, планет і навіть комет, що блукають небом, стали для нього цілком зрозумілими. З'явилася можливість наукового передбачення рухів усіх тіл Сонячної системи і навіть зірок і зоряних систем.

Наприкінці 1683 року Ньютон, нарешті, повідомив Королівське товариство про основні початки своєї системи у вигляді низки теорем про рух планет. Однак теорія була занадто геніальна, щоб не знайшлися заздрісники й люди, які намагалися приписати собі бодай частину слави від цього відкриття. Без сумніву, деякі з тодішніх англійських учених досить близько підійшли до відкриттів Ньютона, але зрозуміти труднощі питання — ще не значить розв'язати його. Однак поступово пристрасті вгамувалися, а слава відкриття всесвітнього тяжіння справедливо дісталася Ісааку Ньютону.

Якщо Галілея ми називаємо фундатором експериментального методу у фізиці, то велич Ньютона визначається не тільки тим, що він відкрив фундаментальні закони фізики, але й тим, що він створив основи фізичного мислення. Його шлях побудови фізичного знання, «метод принципів» став достатнім для розв'язання будь-якої задачі механіки. Але за своєю суттю принципи Ньюто-

на є надзвичайно плідними, і всі наступні фундаментальні теорії (електродинаміка, термодинаміка, теорія відносності й квантова теорія) створені за цими правилами. Відкриття закону всесвітнього тяжіння ознаменувало перехід від кінематичного опису сонячної системи до динамічного. На честь першовідкривача одиниця сили була названа ньютон.

Головний напрямок розвитку фізики XVIII століття був скоріше аналітичним, а не синтетичним. У цей час широко організовуються фізичні лабораторії, поліпшуються прилади для досліджень, аналізуються й перевіряються як експериментальні результати, так і висунуті раніше теорії. Це століття порівняно з попереднім було менш яскравим і не дало нових великих ідей і вчених масштабу Галілея, Гюйгенса, Ньютона.

В галузі механіки найбільш яскраве досягнення XVIII століття — створення аналітичної механіки, де за допомогою застосування методів математичного аналізу до дослідження фізичних явищ окремі наукові досягнення вибудовувалися в одне ціле. Механіка Ньютона була викладена геометричною мовою, а зусиллями механіків її представили в аналітичному вигляді. Тут слід згадати роботи швейцарського вченого, який в основному працював у Петербурзькій і Берлінській Академії наук, Леонарда Ейлера (1707—1783) — він виклав аналітичні основи руху матеріальної точки й твердого тіла. Раціональна механіка остаточно сформульована в «Аналітичній механіці» французького вченого Жозефа Луї Лагранжа (1736—1813). Тут він з єдиних принципів розвиває основні розділи механіки: статику й гідростатику, динаміку й гідродинаміку. Сприймаючи поняття й постулати Галілея й Ньютона, він завдяки своєму математичному таланту звів усе до відомих динамічних рівнянь Лагранжа. Відтоді теоретична механіка стала, по суті, розділом математики, а не фізики.

У XVIII столітті із застосуванням математичних методів англійський математик Бруге Тейлор (1685—1731) розв'язав основну задачу акустики про коливання струни, поклавши початок математичній фізиці. Батьком експериментальної акустики вважають німецького фізика Ернста Хладні (1756—1827), який першим точно дослідив коливання камертона. Всі акустичні явища пояснювалися рухом коливного тіла й частин середовища.

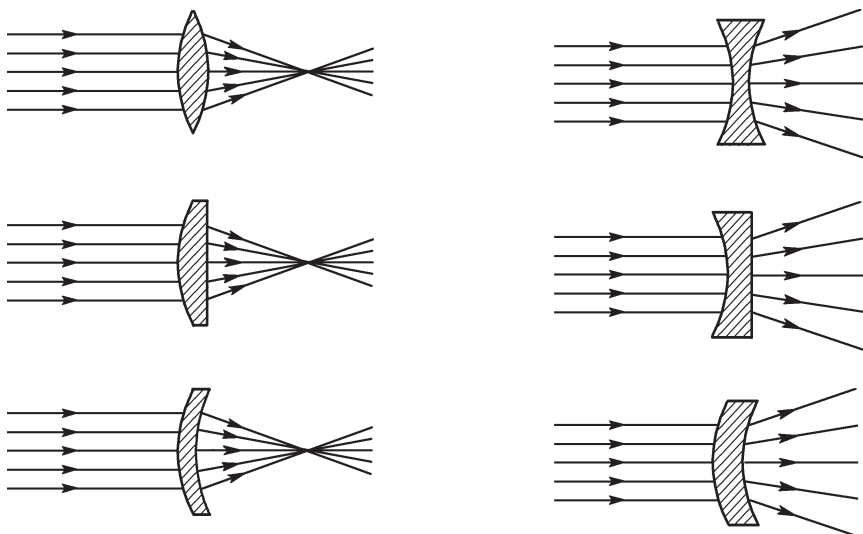
Все почалося з лінзи

Назва науки походить від грецьких слів *optike* — наука про зорові сприйняття, від *optos* — видимий, зримий. Цей розділ фізики вивчає природу оптичного випромінювання (світла), його поширення і явища, спостережувані при взаємодії світла й речовини. Оптичне випромінювання являє собою електромагнітні хвилі, і

тому оптика — частина загального вчення про електромагнітне поле. Оптика бере свій початок у досить давні часи, коли з'явилися лінзи. Так, шматок гірського кришталю у формі лінзи був знайдений у руїнах Ніневії, а Арістофан (IVст. до н. е.) установив, що за допомогою лінз можна розводити вогонь. У трактаті Плінія Старшого «Природнича історія», датованому першим століттям до нашої ери, є відомості про те, що лінзи ще три століття тому використовували для припікання ран. Александрійський астроном Клавдій Птолемей (бл. 85 — бл.160 рр.) проводив дослідження по заломленню світла при переході його з повітря у воду або скло. Складені ним таблиці збереглися до нашого часу. Давньогрецькі мислителі розробляли й теорію зору. Піфагорійці, як і Демокріт, учили, що видимий предмет посилає в око спостерігача часточки світла. Платон і його послідовники вважали, що ми бачимо, коли якесь явище, що виливається з нашого ока, взаємодіє із впливами, що виходять від об'єкта й Сонця.

У 1589 році була надрукована праця італійського вченого Джованні Баттіста Порти, присвячена головним чином оптиці. В ній докладно описувалися опуклі та ввігнуті лінзи для спостереження далеких і близьких предметів.

Бурхливий розвиток оптики розпочався після винаходу нових оптичних інструментів і нової хвилі інтересу до зорового процесу. У 1609 році Галілей сконструював телескоп, і майже відразу ж після цього були винайдені мікроскопи, які неважко одержати з телескопів, просто переставивши лінзи. «Діоптрика» Кеплера,



Хід променів у різних лінзах

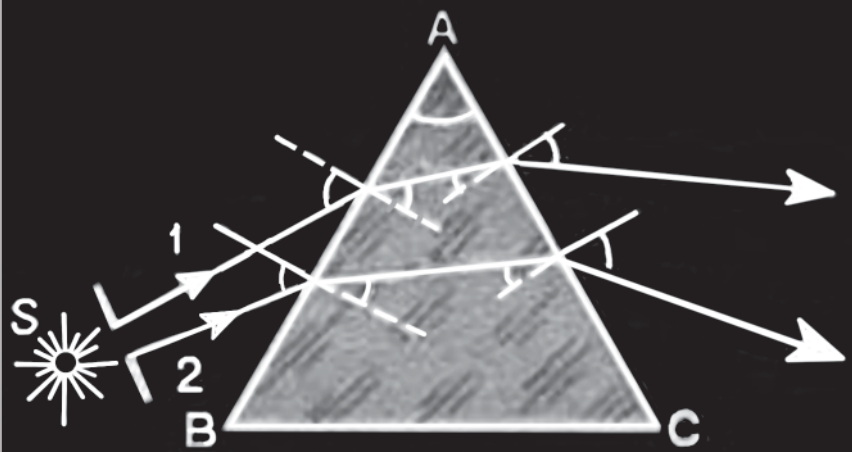
у якій уперше викладалася теорія оптичних інструментів, була опублікована в 1611 році, а закон заломлення світла при вході в скло й виході з нього, що намагався встановити ще Птолемей, залишався невідомим до 1637 року, коли Декарт видрукував його у своїй «Діоптриці». Формулювання цього ж закону (щоправда, дещо відмінне від загального) було виявлене в працях голландського математика В. Снелліуса вже після його смерті 1626 року. Декарт пояснював закон Снелліуса гіпотетичною зміною швидкості світла при переході через межу середовищ, однак фактично про швидкість світла не було відомо нічого, крім того, що вона дуже велика.

Декарт ще в 1629 році визначив хід променів у призмі й у склі різної форми. Він навіть придумав механізми для полірування скла. Шотландський професор Джеймс Грегорі побудував модель чудового для свого часу телескопа, заснованого на теорії ввігнутих дзеркал. Таким чином, уже тоді практична оптика досягла значної міри досконалості й була однією з наук, що найбільше цікавила тодішній учений світ.

І все ж таки до 1666 року, коли Ньютон почав оптичні дослідження, теорія заломлення дуже мало просунулася від часів Декарта. Про кольори веселки й кольори тіл існували досить плутані теорії й поняття — майже всі вчені того часу обмежувалися твердженням, що той або інший колір є або «поєднанням світла з тьмою», або поєднанням інших кольорів. Само собою зрозуміло, що такий очевидний факт, як райдужне забарвлення, що його спостерігали при розгляданні предметів крізь призму або крізь погане оптичне скло, був добре відоме усім, хто займався оптикою. Але всі були твердо переконані в тім, що всі промені при проходженні крізь призму або крізь збільшувальне скло переломлюються однаково. Забарвлення й райдужні облямівки відносили виключно за розрахунок нерівностей поверхні призми або скла. А ось праця чеського вченого Й. М. Марці, в якій містилися результати його оптичних дослідів, головним чином по спектральному аналізу розкладення світла різними способами, залишилася невідомою, і навіть Ньютон про неї не знав.

Спочатку Ньютон багато працював над шліфуванням збільшувальних стекол і дзеркал. Під час цих робіт він практично познайомився з основними законами відбиття й переломлення, з якими уже був теоретично знайомий за трактатами Декарта й Грегорі. Ньютон починає серії експериментів, про які згодом сам великий учений найдокладніше розповів у своїх працях.

На початку свого аналізу він усамітнив тонкий пучок білих сонячних променів і дійшов проміжних висновків. Але різні безпідставні «підозри», як називав Ньютон свої гіпотези, навели його



Схематичне зображення проходження променів світла крізь скляну призму

на думку продовжити дослід. Тепер йому спало на думку усамітнити частину переломлених променів. Це був другий і найважливіший крок у справі аналізу спектра. Помітивши, що в його досліді фіолетова частина спектра завжди була нагорі, нижче синя й так далі — до найнижчої червоної, Ньютон спробував усамітнити промені якого-небудь одного кольору й досліджувати їх окремо, отримуючи і аналізуючи ще більш тонкі пучки променів. Повторивши дослід кілька разів, вчений побачив, що промені знову заломлюються, причому всі майже однаково. Він думав навіть, що зовсім однаково, тобто вважав одноколірні промені цілком однорідними.

Повторивши дослід над іншими променями, Ньютон нарешті зрозумів головну особливість, що відрізняє ті або інші промені від променів іншого кольору. Пропускаючи крізь ту саму призму то самі червоні промені, то самі фіолетові й так далі, він остаточно переконався, що біле світло складається із променів різної заломлюваності й що ступінь заломлюваності тісно пов'язаний з якістю променів, а саме з їхнім кольором. З'ясувалося, що червоні промені найменш заломлювані й так далі до найбільш заломлюваних — фіолетових.

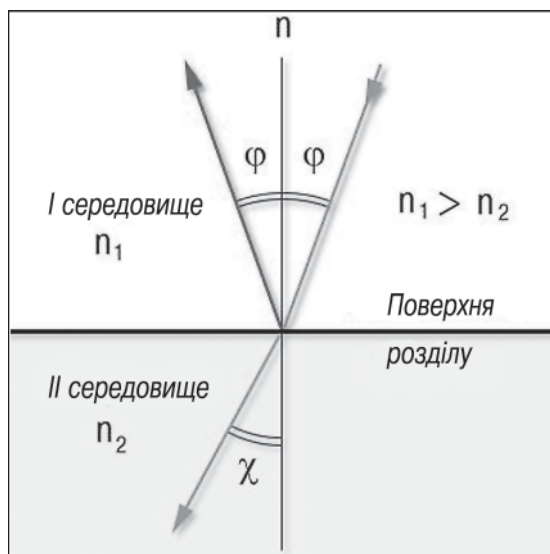
Ньютон так сформулював висновки найбільшого відкриття:

1. Точно так, як промені світла різняться за ступенем їхнього заломлення, точно так вони різняться й за своєю схильністю проявляти той або інший окремий колір. Кольори не є якістьми світла, що відбуваються через заломлення або відбиття в природних тілах (як звичайно вважають), але суть природні й природжені якості, різні в різних променях...

2. Одній й тій самій ступені заломлюваності завжди відповідає той самий колір, а тому самому кольору завжди відповідає той самий ступінь заломлюваності. А зв'язок між кольорами й заломлюваністю дуже точний і чіткий: промені або точно узгоджуються в обох випадках, або пропорційно в них же не узгоджуються.
3. Зразки кольору й ступінь відхилення, властиві кожному окремому виду променів, не змінюються ні у зв'язку з заломленням, ні через відбиття від природних тіл, ні будь-якою іншою причиною, що я зміг спостерігати.

Так, 8 лютого 1672 року була опублікована перша наукова стаття Ньютона. Той надзвичайний резонанс, що викликала така невелика за обсягом праця, її величезний вплив на долю Ньютона й долю науки в цілому змушують наших сучасників більш уважно поставитися до того нового, що привнесла вона у світ наукового дослідження. Вона знаменувала становлення нової науки, вільної від необґрунтованих гіпотез, що спирається лише на твердо встановлені експериментальні факти й на тісно пов'язані з ними логічні міркування. А взагалі ж, відкриття різної заломлюваності променів стало вихідним пунктом цілої низки наукових відкриттів. Подальший розвиток ідеї Ньютона привів пізніше до відкриття так званого спектрального аналізу.

До числа принципів відкриттів в оптиці слід віднести виявлення італійським ученим Франческо Марія Грімальді (1618—1663) явища дифракції — відхилення світла. У своїх поясненнях Грімальді скористався аналогією із хвилями, що утворюються від кинутого у воду каменя, і які огинають перешкоду, тобто він звертається до хвильової гіпотези світла. Цим же він пояснює природу кольорів за аналогією зі звуком, що за Галілеєм визначається різними коливаннями повітря. У своїй фундамен-

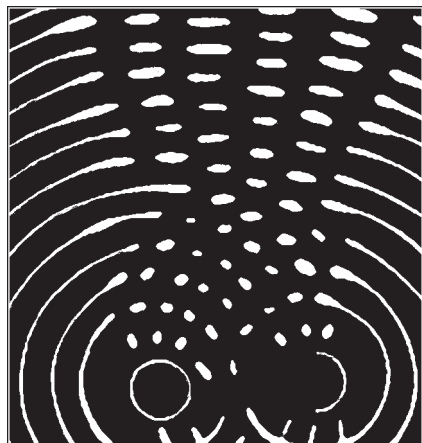


Заломлюваність світла



Томас Юнг

Томас Юнг у ранньому дитинстві виявив неабиякі здібності: у два роки швидко читав, у чотири — знав напам'ять вірші багатьох англійських поетів, у вісім — опанував токарське ремесло і робив різні фізичні прилади, до чотирнадцяти років познайомився з диференціальним численням і вже знав дев'ять мов.



Явище інтерференції

тальній праці «Оптика» (1704) Грімальді фактично виклав основи сучасної фізичної оптики, насамперед, результати з дисперсії світла й природи кольорів, блискучі досліди із розкладання світла призмою й змішанням кольорів.

Слід сказати і про внесок в оптику Хрiстiана Гюйгенса, що видав у 1690 році «Трактат про світло», де були викладені основи хвильової теорії світла. Він відкрив принцип побудови огинаючої хвилі, що і сьогодні відома під його ім'ям. Після цього, на самому початку ХІХ століття були проведені роботи, що ознаменували тріумф хвильової теорії. Це зробив передусім Томас Юнг (1773—1829), лікар за професією, який мав досить різнобічні інтереси.

Першою роботою Юнга з оптики (1793) була праця про акомодацию ока, яка пов'язана зі зміною кривизни кришталика. У трактаті «Досліди зі звуку й світла» (1800) він провів аналогію між явищами акустики й оптики, застосував принцип суперпозиції й відкрив принцип інтерференції. В 1802 році Юнг зробив перший демонстраційний експеримент за спостереженням інтерференції світла, одержавши два когерентних джерела. Цей дослід став тепер класичним. В екрані кінчиком булавки проколювалися два близько розташовані отвори, які освітлювалися сонячним світлом з невеличкого отвору в заштореному вікні. За екраном

Типовий приклад інтерференції, що можна спостерігати, — це кольорове забарвлення тонких плівок — плям бензину в калюжах, мильних бульбашок тощо.

вчений спостерігав замість двох яскравих точок серію темних і світлих кілець, що чергувалися.

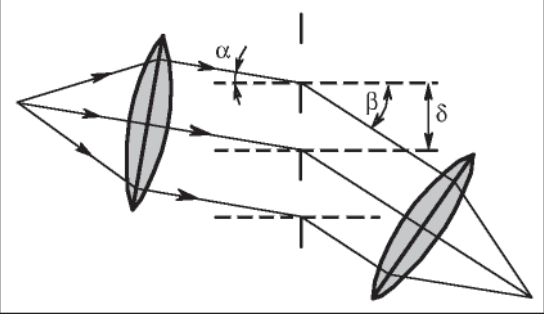
Свій дослід Юнг пояснив за аналогією з поширенням двох різних систем хвиль на поверхні води. «Гадаю, — писав учений, — що подібні явища мають місце, коли змішуються дві порції світла, і це накладення я називаю загальним законом інтерференції». Завдяки своєму відкриттю Юнг легко пояснив забарвлення кілець Ньютона й навіть уперше з дуже великою точністю виміряв довжину хвилі світла. Томас Юнг також був першим, хто використав термін «фізична оптика».

Шістнадцять років по тому молодий дорожній інженер Огюстен Жан Френель (1788—1827) подав на конкурс Паризької Академії наук великі мемуари, які написав за результатами робіт з дифракції, виконаних на примітивному устаткуванні після звільнення зі служби за антинаполеонівські виступи в період Ста днів. Він знав про досліди Т. Юнга з інтерференції світла й хотів повторити їх. Але йому пощастило зробити набагато більше — він відкрив явище дифракції. Коротко воно полягає в такому. Якщо на шляху світлового променя поставити екран, то за ним виникає область світла. Проникнення хвилі у сферу геометричної тіні й називається дифракцією. Вона відбувається, коли довжина хвилі є порівняною з розміром перешкоди.

Теорія Френеля була математично строгою і красивою, але, виконуючи експерименти згідно з цією теорією, мастигий учений Сімеон Дені Пуассон одержав парадоксальний результат: з'ясувалося, що при певному розмірі й положенні кульки між джерелом світла й екраном на екрані за кулькою замість геометричної тіні утворюється світла пляма. Цей дослід з дифракції світла став початком широкого визнання хвильової природи світла. Нині явище дифракції використовують для створення чутливих спектральних приладів. Виявляється, якщо замість однієї щі-



Огюстен Жан Френель



Дифракційна решітка

лини використовувати систему паралельних щілин (дифракційна решітка), то роздільна здатність приладу помітно збільшується. Однак дифракційні явища дають не тільки користь, але й шкоду, обмежуючи роздільну здатність оптичних приладів.

Ще одна заслуга Френеля полягає в тому, що, геніально поєднавши принцип інтерференції із запропонованими Гюйгенсом принципами елементарних і огибаючих хвиль, він остаточно побудував основи хвильової оптики. При цьому було подолано основне утруднення хвильової теорії — неможливість пояснення прямолінійності поширення світла.

Великий внесок у розвиток оптики зробив німецький фізик Йозеф Фраунгофер (1787—1826). Щоб точно виміряти дисперсії світла в призмах, він використовував як джерело світла свічу або лампу. При цьому вчений виявив у спектрі яскраву жовту лінію, відому тепер як жовта лінія натрію. Невдовзі визначили, що ця лінія перебуває завжди в тому самому місці спектра, так що її дуже зручно використовувати для точного виміру показників заломлення. Фраунгофер писав у своїй першій роботі 1815 року: «...я вирішив з'ясувати, чи можна бачити подібну світну лінію в сонячному спектрі. І я за допомогою телескопа виявив не одну лінію, а надзвичайно велику кількість вертикальних ліній, різних

і слабких, які, однак, були темніші іншої частини спектра, а деякі з них здавалися майже зовсім чорними».

У 1800 році англійський учений Фредерік Вільгельм Гершель (1738—1822) під час дослідів з переміщення чутливого термометра по сонячному спектру відкрив інфрачервоне випромінювання. Він помітив, що максимум випромінювання досягається за червоною сферою спектра, а це суперечило загальноновизнаній думці про рівномірність розподілу теплових променів по спектру. А через два роки німецький фізик Йоганн Ріттер (1776—1810) повторив досліди Гершеля, використовуючи для реєстрації фотохімічну дію світла на хлористе срібло, і виявив ультрафіолетове випромінювання.

Усього Фраунгофер нарахував їх там 574. Він дав назви й указав точне місце їхнього розташування в спектрі. З'ясувалося, що розташування темних ліній було строго незмінним,

зокрема завжди в тому самому місці жовтої частини спектра з'являлася різка подвійна лінія. Її Фраунгофер назвав лінією О. Учений також виявив, що в спектрі полум'я спиртівки на тому самому місці, де й темна лінія О в спектрі Сонця, завжди присутня яскрава подвійна жовта лінія. Всі темні лінії спектру дістали назву фраунгоферівських на честь дослідника, який заклав основи спектрального аналізу.

Продовжуючи свої дослідження темних ліній у спектрі Сонця, Фраунгофер зрозумів головне: причина їх виникнення полягає не в оптичному обмані, а в самій природі сонячного світла. У результаті подальших спостережень він виявив подібні лінії в спектрах Венери й Сиріуса.

Однак остаточно принципи спектрального аналізу були сформульовані німецькими вченими Густавом Робертом Кірхгофом (1824—1887) і Робертом Бунзеном (1811—1899). (Більш детальну розповідь про їхні дослідження читайте в розділі «Королева перетворень».) Менш ніж через десять років після остаточного формулювання принципів спектрального аналізу, в 1868 році, за допомогою цього видатного відкриття незалежно один від одного французький астроном Ж. Жансен і англійський астрофізик Дж. Лок'єр, аналізуючи сонячне світло, на відстані 150 млн км від Землі виявили в сонячних променях спектр невідомого елемента, який пізніше назвали гелієм. Після цього відкриття почалося вивчення спектрів



Йозеф Фраунгофер

Фраунгофер до 14 років був неписьменним і працював оптиком-механіком в оптичній майстерні, а вже у 24 роки очолив усю оптичну промисловість Баварії. Він сконструював спектрометр, ахроматичний мікроскоп, окулярний мікрометр і геліометр. Фраунгофер створив фірму «Утцшнайдер і Фраунгофер», що випускала першокласні оптичні інструменти, які мали світову популярність.

космічних тіл, складу Сонця й зірок, — і виявилось, що зоряні речовини складаються з тих самих атомів, що й земні. А спектральний аналіз, починаючи з другої половини ХІХ століття, став потужним інструментом фізичних досліджень.

Закони «теплої сили»

Слово «термодинаміка» складається з двох грецьких слів: «терме» — «теплота» й «динаміс» — «сила». Вчення про теплоту зародилося у XVIII столітті. До цього часу поняття температури й теплоти практично не різнилися. Роботами вчених XVIII століття було розпочато кількісне дослідження теплових явищ. У розробку шкал для виміру температури зробили основний внесок німецько-голландський фізик Габріель Даніель Фаренгейт (1686—1736), французький учений Рене Антуан Фершо де Реомюр (1683—1757) і шведський учений Андерс Цельсій (1701—1744). Голландський фізик Пітер ван Мушенбрек (1692—1761) провів перші дослідження теплового розширення твердих тіл і для вимірювання температури плавлення ряду металів використовував розширення залізного бруса.

Кількісні дослідження змішування води різних температур, проведені російським фізиком Георгом Вільгельмом Ріхманом (1711—1753), вивчення шотландським ученим Джозефом Блеком (1728—1799) процесів плавлення й випарювання й інші роботи в галузі теплових явищ привели до розділення понять теплоти й температури. Були введені одиниці виміру кількості тепла (калорія), поняття теплоємності, теплоти плавлення й паротворення. Для пояснення природи теплоти використовувалися дві теорії: за однією з них теплота пов'язувалася з рухом частинок, а за іншою розглядалася спеціальна невагома матерія — теплород. Слід зазначити, що в цьому напрямку важливе значення мали роботи Михайла Ломоносова, який був затятим супротивником теорії теплорода.

Термодинаміка виникла у XIX столітті у зв'язку з розвитком теорії теплових машин і встановленням закону збереження енергії. Цей розділ фізики вивчає найбільш загальні властивості макроскопічних систем, що перебувають у стані термодинамічної рівноваги, та процеси переходу між цими станами. Термодинаміка виникла як наука про процеси, що відбуваються в теплових машинах: парових котлах, двигунах внутрішнього згорання, тобто як наука про перетворення тепла на механічний рух, у роботу. Вона й дотепер займається вивченням цих питань, але крім того й проблемами теорій реактивних двигунів, ядерних реакторів тощо. Нині об'єктом її досліджень є практично будь-які процеси перетворення матерії, пов'язані з виділенням або поглинанням енергії, переносом речовини, здійсненням роботи: процеси розширення й стиску, нагрівання й охолодження, хімічні реакції, теплове випромінювання тощо.

Термодинаміка базується в основному на трьох законах. Першим нині називають закон збереження енергії, але, як не дивно,

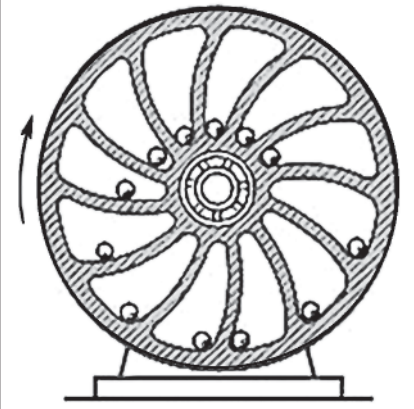
він був сформульований після другого закону термодинаміки, відкритого французьким фізиком Ніколя Леонардом Саді Карно (1796—1832). Він був піонером в галузі вивчення теплових машин і першим використав термін «рушійна сила». У записній книжці, виявленій після смерті Карно в 1878 році, говорилося: «Тепло може бути коливальним рухом частин. Якщо це так, то кількість тепла є не що інше, як механічна енергія, витрачена на приведення частин у коливальний рух... Таким чином, можна сформулювати загальний принцип, відповідно до якого кількість рушійної сили в природі незмінна; точніше кажучи, вона не створюється й не зникає».



Саді Карно

Цей принцип має для фізики величезне значення, бо він є первинно сформульованим законом збереження енергії. Карно зміг знайти чисельне вираження еквівалентності тепла й роботи. (У сучасних одиницях отриманий ним результат такий: 3,7 джоуля еквівалентний 1 калорії.) Із закону збереження енергії випливає, що частина тепла, яка підводиться до машини, йде з відпрацьованим теплоносієм, залишаючись невикористаною. Що нижче температура теплоносія, то сутужніше використовувати його енергію на здійснення роботи. Таким чином, у результаті будь-якого перетворення енергії на роботу з теплоносієм іде якась кількість менш «корисної» енергії, і ніякий компенсуючий процес не може збільшити її «корисність». Будь-який процес, у результаті якого тепло перетворюється в роботу, супроводжується підвищенням ентропії навколишнього середовища. Було встановлено, що будь-яка спроба зменшити ентропію приводить до подальшого її збільшення де-небудь в іншому місці. Нині цей принцип називається другим початком термодинаміки.

Другий закон термодинаміки відомий також обґрунтуванням, що вічний двигун другого роду створити неможливо. Треба сказати, що із часу відкриття теплової енергії дуже привабливою здавалася задача створення теплової машини, яка могла б виконувати механічну роботу з використанням тільки нагрівника, і перший закон термодинаміки не суперечив її створенню. Однак



Вічний двигун другого роду

котт Джоуль (1818—1889), які також чисельно визначили механічний еквівалент теплоти.

Перший закон термодинаміки твердить, що всяке тіло має внутрішню енергію, причому вона може зменшитися, якщо тіло виконує роботу, і збільшиться, якщо до нього надходить теплота. Фактично це є законом збереження енергії, тобто не можна виконати роботу з нічого або перетворити її на ніщо. Пристрій або машину, що має виконувати роботу з нічого, називають вічним двигуном першого роду, однак перший закон термодинаміки заперечує можливість його існування.

Відкриття цього закону в основному пов'язане з іменами Майєра, який прийшов до ідеї про можливість взаємного перетворення тепла й роботи, Джоуля, який першим обчислив механічний

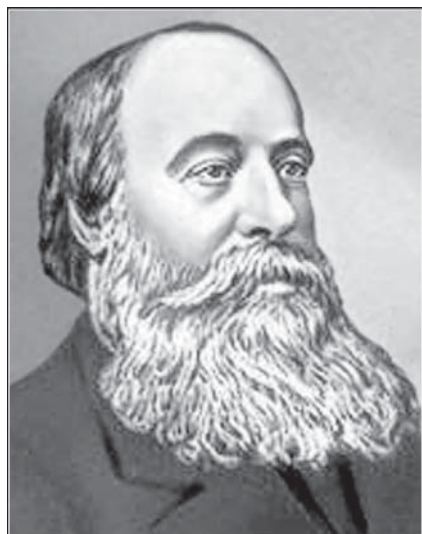
із введенням принципу Карно ця теорія розпалася на порошок, оскільки було доведено, що для перетворення енергії теплового руху молекул на теплову енергію необхідно мати друге тіло, температура якого буде нижча.

Остаточно ж ідею про еквівалентність роботи й теплоти — перший закон термодинаміки — в 1842—1843 роках сформулювали німецький лікар Юліус Роберт Майєр (1814—1878) і англійський фізик Джеймс Прес-

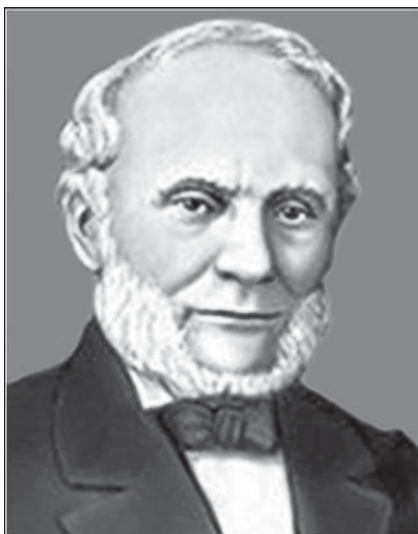
еквівалент теплоти (на його честь він і називається нині джоулем) і німецького вченого Германа Гельмгольца (1821—1894), що сформулював перший закон термодинаміки і зрозумів його загальний зміст як закону збереження енергії.

Визначну роль у формулюванні Майєром першого закону термодинаміки відіграла його подорож до Індонезії, де він побував як корабельний лікар. Працюючи в тропіках, він помітив, що колір венозної крові в жителів жаркого клімату більш яскравий і червоний, ніж темний колір крові в жителів холодної Європи. Майєр правильно пояснив яскравість крові в жителів тропіків: внаслідок високої температури організму доводиться виробляти менше теплоти. Адже в спекотному кліматі люди ніколи не мерзнуть. Тому в жарких країнах артеріальна кров менше окислюється й залишається майже такою ж червоною, коли переходить у вени.

У 1865 році німецький фізик Рудольф Клаузіус (1822—1888), який дав точне формулювання дру-



Джеймс Прескотт Джоуль



Рудольф Клаузіус

гого закону термодинаміки, ввів нову функцію — ентропію. Він відкрив її найважливішу особливість: у теплоізованих системах процеси йдуть мимоволі в бік збільшення тропії; у стані теплової рівноваги ентропія досягає максимуму. Ця функція є мірою безладдя в системі, таким чином, мимовільні процеси йдуть у бік збільшення безладдя. Ентропія зіграла фундаментальну роль у термодинаміці. Ця величина постійна в ідеальних оборотних процесах і зростає для реальних процесів.

Закон збереження енергії спочатку так і називали — «вічний двигун неможливий».

Пізніше німецький фізикохімік Вальтер Нернст (1864—1941) установив, що абсолютне значення ентропії простих кристалічних тіл прагне до нуля при температурі, що теж прагне до нуля. Це третій закон термодинаміки.

Усі три закони термодинаміки є справедливими для будь-яких процесів і для будь-яких речовин: твердих, рідких, газоподібних, плазми, металів тощо. Ейнштейн писав: «Теорія є тим більше вражаючою, чим простіші її передумови, чим більш значуща розмаїтість охоплюваних нею явищ і чим ширша сфера її застосування. Саме тому класична термодинаміка справляє на мене дуже глибоке враження. Це — єдина загальна фізична теорія, і я переконаний, що в рамках застосовності своїх основних положень вона ніколи не буде спростована».

Слід зазначити, що термодинаміка тільки на самому початку спиралася на механічну теорію теплоти. У міру розвитку вона

перетворилася на самостійний розділ фізики, методологією й потужним апаратом якого стали користуватися в різних галузях фізики й хімії і який став основою для молекулярно-кінетичної теорії і так званої «аш-теореми» Людвіга Больцмана, що твердить: Всесвіт існуватиме вічно, бо другий закон термодинаміки треба застосовувати не щодо ефіру, духу або енергетичних субстанцій, а щодо конкретних атомів та молекул.

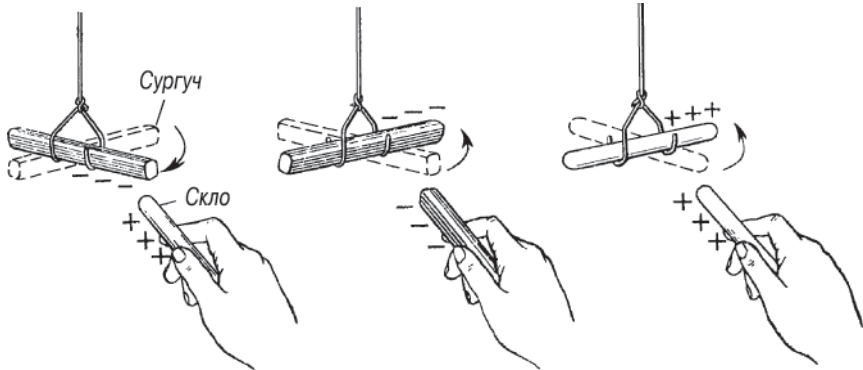
Той, що у дроті сидить

Протягом тривалого часу більшість фізиків ставилася до електричних явищ як до несуттєвих курйозів. Хоча вже в Давній Греції знали, що якщо натерти поверхню бурштину хутром або вовною, то вона притягуватиме до себе легкі предмети: пір'я, сухі травинки тощо. Із цього досліду й виникло саме слово електрика: *electron* — грецькою бурштин. Було також помічено, що бурштин можна замінити сургучем. Крім того, з'ясувалося, що якщо натерти вовняною тканиною сургучеву паличку зблизити зі скляною паличкою, натертою шовком, то між ними виникне сила притягання й проскочить іскра. І навпаки, якщо зблизити між собою дві однакові палички, то виникнуть сили відштовхування. Так було висловлене припущення, що існує два види електрики: смоляна електрика, що збирається на сургучевій паличці, й скляна електрика — на скляній. Однак наука про електрику так і залишалася в зародковому «бурштиновому» стані. Першим же, хто припустив, що вона згодом відіграватиме важливу роль у розумінні природних явищ, був, очевидно, Ісаак Ньютон.

Англійський лікар Вільям Гільберт (1540—1603) установив, що властивості притягати легкі предмети після натирання набувають також і алмаз, сапфір, аметист, гірський криштал, сірка, смола тощо. Він назвав їх «електричними», тобто «подібними до янтарю». Так у науку ввійшов термін «електрика», і був покладений початок системному вивченню електричних явищ.

Розподіл зарядів на позитивні й негативні зробив відомий політичний діяч США Бенджамін Франклін (1706—1790), один з небагатьох людей в Америці XVIII століття, які цікавилися за-

гальнонауковими питаннями. В 1747 році він сформулював свою теорію з використанням поняття електричного флюїду, надлишок або недостатність якого зумовлює електризацію тіл. Лондонське королівське товариство визнало роботи Франкліна не вартими публікації, і вони були надруковані його другом, англійським фізиком Пітером Коллінсоном на його кошт. Успіх публікації був величезний, а після того, як у 1752 році був реалізований експеримент Франкліна з блискавковідводом, що підтвердив екви-

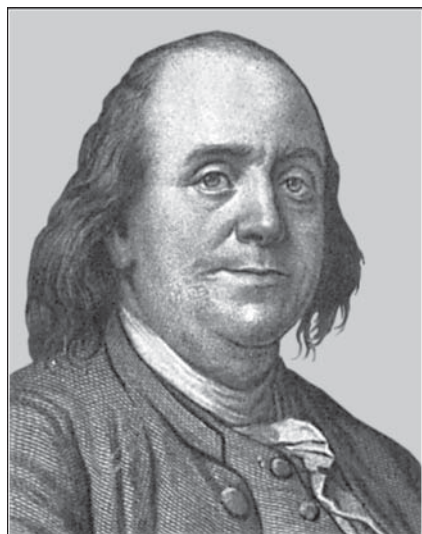


Досліди, що демонструють притягання електричних зарядів з різними знаками та відштовхування зарядів з однаковими знаками

валентність електричної іскри й блискавки, науковий ентузіазм у дослідженні електричних явищ дуже посилювався. Королівське ж товариство в 1753 році присудило Франкліну Коплеєвську медаль, а в 1756 році обрало своїм членом.

Перші ж кількісні виміри для встановлення законів електрики були виконані наприкінці XVIII століття. Тоді цілій низці дослідників пощастило різними шляхами показати, що електричні сили подібні до гравітаційних. Одним із них був Шарль Огюстен Кулон (1736—1806) — французький фізик, член Паризької академії наук, який змінив кар'єру військового інженера на наукову. Напевно, головним його винаходом були крутильні ваги — високочутливий прилад, дуже потрібний для вимірювання малих сил. Основний їхній принцип полягає в тому, що вимірювана сила скручує тонку пружну нитку і за фіксованою величиною скручування визначається сила. Цей принцип і тепер використовується в багатьох точних приладах, оскільки його найважливіша перевага — відсутність зовнішнього тертя.

За допомогою крутильних ваг Кулон відкрив один з основних законів електростатики, названий згодом його ім'ям: модуль сили взаємодії двох точкових нерухомих заряджених тіл прямо пропорційний добутку абсолютних значень зарядів і обернено пропорційний квадрату відстані між тілами. Якщо знаки електричних зарядів однакові, сила буде відштовхувальною, якщо ж знаки різні — силою притягальною. Неважко помітити, що рівняння закону Кулона за зовнішнім виглядом схоже на рівняння закону всесвітнього тяжіння Ньютона з тією, однак, різницею, що природа сил різна, маси тіл на противагу електричним зарядам завжди мають однаковий, позитивний, знак, а сила завжди є притягальною. На честь Кулона одиницю кількості електрики (електричного заряду) назвали кулоном.



Бенджамін Франклін

фізіологів виникла гіпотеза про «тваринну есенцію», яка подібно до електричного флюїда є відповідальною за перенос нервових сигналів.

Тому немає нічого дивного в тому, що італійський фізіолог Луїджі Гальвані (1737—1796) також є одним із засновників учення про електрику. Головна подія в його науковому житті відбулася



Шарль Огюстен Кулон

Кулоном було доведено, що електричні заряди завжди розташовуються на поверхні провідника; він показав, що відкритий ним закон справедливий не тільки для електричних зарядів, але й для магнітних полюсів. Фактично роботи Шарля Кулона стали теоретичною основою для наступного розвитку електро- і магнітостатики.

З перших же випадків ураження електричним розрядом виникли припущення про «тваринну електрику», регулятора життя тварин. В 1773 році з'явилися мемуари Джона Уолша про електричного ската, а у

лише в 1790 році, коли він проводив свої дослід з жабами, що стали потім знаменитими. Все це, напевне, було так. Металевою пластинкою Гальвані торкнувся нерва щойно вбитої жаби, одночасно торкаючись пластинкою з іншого металу стегна цієї жаби. Коли дві пластинки зіткнулися, було помічено конвульсивне скорочення м'язів бідолашної тваринки.

Дослід, проведений Гальвані, мав велике значення, але ні він сам, ні його сучасник Алессандро Вольта (1745—1827) правильно пояснити цього дослідку не змогли. Спочатку обидва вчені дали дослідіві

однакове пояснення — розглядали його як прояв тваринної електрики, що виробляється в мозку, а потім по нервах передається у волокна м'язів. Однак Вольта згодом дійшов висновку, що виникнення електрики зовсім не було пов'язане з організмом тварини, а повністю визначалося наявністю в ланцюзі двох пластин з різних металів. У 1795 році він зробив відкриття: якщо дві пластини, наприклад з міді й цинку, розділити картоном, просоченим сірчаною кислотою, то такий найпростіший пристрій являтиме собою джерело електричного струму.



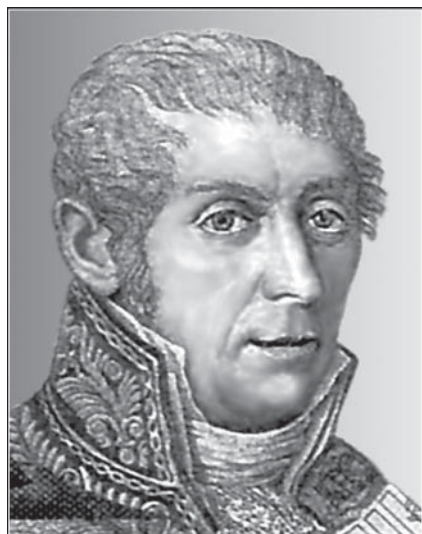
Луїджі Гальвані

Але, як уже було сказано вище, жоден із цих двох чудових учених не дав правильного пояснення досліду Гальвані. Річ у тім, що гальванічний елемент — це пристрій, який перетворює хімічну енергію на електричну, і для його функціонування потрібно два електроди (позитивний і негативний, дві металеві або вугільні пластинки), і електроліт (у даному разі сірчана кислота). А в організмі препарованої жаби все-таки є «тваринна електрика», але вона існує й без дотику металів. Сьогодні це ні в кого не викликає сумніву й широко застосовується в медичній практиці.

Надалі Вольта з метою усунення будь-яких сумнівів відмовився від дослідів над тваринами, що доти були індикаторами струму. Він розробив методику вимірювань контактних різниць потенціалів своїм конденсаторним електрометром. Вольта також ясно й чітко сформулював умови виникнення постійного струму: наявність замкнутого ланцюга з різних провідників. Учений до того ж сконструював ряд найважливіших електротехніч-



Гальванічний елемент



Алессандро Вольта

На настійну вимогу Вольти, найпростіший пристрій, що виробляє електричний струм, було названо на честь Гальвані гальванічним елементом.

вольтів стовп являє собою не що інше, як комбінацію гальванічних елементів. І що більше їхня кількість, то вище напруга вольтового стовпа й більший струм можна від нього одержати.

Природа відкритого Гальвані й Вольтю джерела струму була дуже складною, і при тодішньому рівні фізико-хімічних наук і фізіології повністю розкрити картину явища було неможливо. У суперечці про природу цього явища, по суті, з'ясувалося, що обидві сторони мають рацію. Гальвані став основоположником електрофізіології, а Вольта — фундатором учення про електрику. У лабіринті суперечливих дослідів і спостережень Вольта пішов по правильному шляху — він знайшов під час дослідів фізичний закон напруг, дав правильний опис кола електричного струму, а вольтів стовп став для науки потужним знаряддям дослідження, яким вона й не забарилася скористатися.

Уже після перших досліджень в галузі електрики й магнетизму виникали припущення про існування зв'язку між ними. На це наштовхувала спостережувана подібність між притяганням пушинок бурштином і ошурок магнітом. Ці ідеї носилися в повітрі, і кращі уми Європи були ними захоплені. У літературі були відомі

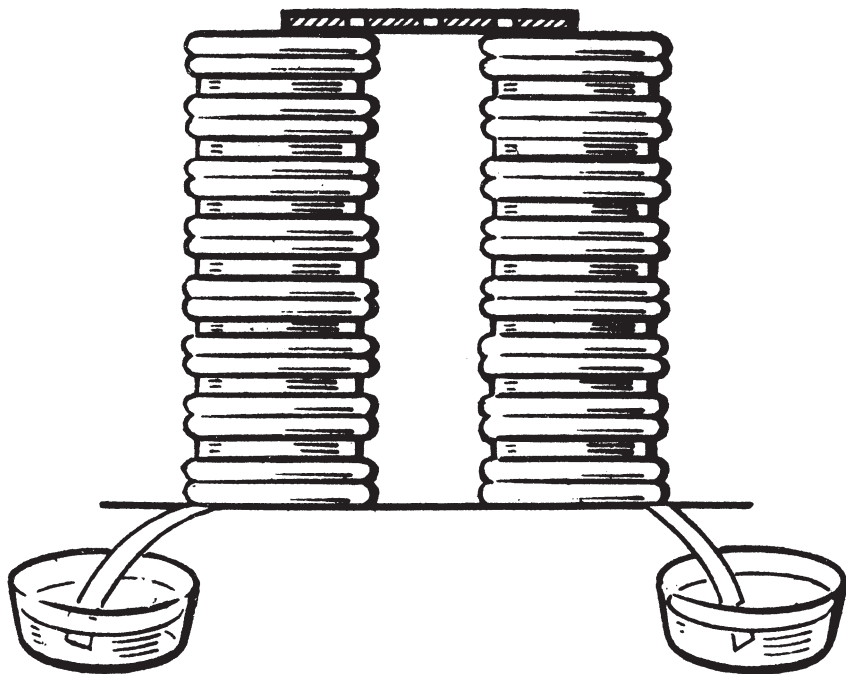
них приладів: конденсатор — пристрій для нагромадження електричних зарядів, електрофор — найпростішу електричну машину для виробництва електричних зарядів, електрометр — прилад для вимірювання електричної напруги (потенціалу), електроскоп — прилад, що дає можливість визначити, чи має тіло електричний заряд (звичайно за кутом розбіжності легких листочків судять про величину заряду). Згодом ім'ям Вольти були названі одиниця електричної напруги й прилад для вимірювання електричної напруги — вольтметр.

А 20 березня 1800 року Вольта написав свій знаменитий лист із описом винаходу, який нині називається вольтовим стовпом, що зробив справжню революцію в науці про електрику. Власне кажучи,

факти намагнічування сталевих голок електричною іскрою, розмагнічування компасів блискавкою. Але всі ці факти мали характер випадкових спостережень і вони навіть не тільки не були узагальнені, але й не описувалися точно.

Вирішальний експеримент у цій галузі в 1820 році поставив Ганс Крістіан Ерстед (1777—1851). Його заслуга полягає, насамперед, у тому, що він зрозумів важливість і новизну свого відкриття й привернув до нього увагу вченого світу.

Вже у 12 років Ерстед стояв за стойкою батьківської аптеки, де його надовго зачарувала медицина, потіснивши хімію, історію, літературу, і ще більше зміцнила в ньому впевненість у його науковому призначенні. Він вступив до Копенгагенського університету, де хапався за все — медицину, фізику, астрономію, філософію, поезію. Золота медаль університету 1797 року була присуджена йому за есе «Межі поезії й прози». Наступна його праця, також високо оцінена, стосувалася властивостей лугів, а дисертація, за яку він одержав звання доктора філософії, була присвячена медицині. До того ж Ерстед був блискучим лектором і популяризатором, організував у 1824 році Товариство з поширення природознавства. Тому немає нічого дивного в тому, що своє відкриття



Елемент Вольти — «вольтів стовп»



Ганс Крістіан Ерстед

«Учений датський фізик, професор Ерстед, — писав Ампер, — своїм великим відкриттям проклав фізикам новий шлях досліджень. Ці дослідження не залишилися марними; вони привели до відкриття безлічі фактів, вартих уваги всіх, хто цікавиться прогресом».

разі випадковість була закономірною — Ерстед був тим дослідником, хто вивчав зв'язки між явищами.

Через деякий час Ерстед знову повторив експеримент, використовуючи могутніші батареї джерел струму. Тепер ефект став значно сильнішим, причому тим сильнішим, чим товстіший був дріт, яким він замикав контакти батареї. Крім того, Ерстед відкрив ще одну дивну річ, що не вкладалася в ньютонівські уявлення про дію й протидію. Сила, що діє між магнітом і дротом, була спрямована не по з'єднуючій їхній прямій, а перпендикулярно до неї. Кажучи словами Ерстеда, «магнітний ефект електричного струму має коловий рух довкола нього». Начебто навколо дроту вихрилися невидимі згустки магнітних сил, що тягнули легку стрілку компаса. Інакше кажучи, магнітні силові лінії, що оточують провідник зі струмом або електричним струмом, є вихор магнітного поля. Таким є зміст першого основного закону електродинаміки,

він зробив у ході лекції (1820), коли мав намір показати досить простий дослід: електричний провід розжарюється, якщо він замкнутий на електроди батареї, а струм, що протікає по ньому, досить великий.

Коли заслужений професор хімії замикав коло, стрілка компаса, що випадково опинився на лабораторному столі, здригалася й поверталася. При розмиканні кола стрілка поверталася назад. Це було перше, експериментальне підтвердження існування зв'язку між електрикою і магнетизмом, саме того зв'язку, який так довго шукали багато вчених. До речі, звернув увагу на рух стрілки компаса один із зірких студентів, чим викликав захоплення викладача. Чи випадково те, що саме Ерстед зробив відкриття? Адже таке щасливе сполучення потрібних приладів, їхнього взаємного розташування й «режимів роботи» могло статися в будь-якій лабораторії. Це так. Але в цьому

Ампер був не тільки науковцем, але й винахідником. Саме він у 1820 році запропонував використовувати електромагнітні явища для передачі сигналів, винайшов комутатор та електромагнітний телеграф.

ная нової галузі фізики — електромагнетизму. Те, що відкрилося йому, було новою таємницею, що не вкладалася в рамки відомих законів. Нарешті, нове відкриття дало в руки фізикам засіб побудувати чутливий і зручний індикатор електричного струму. Після виходу робіт Ерстеда на тему електромагнетизму подальші події розвивалися в дуже незвичному для неквапливої тоді науки темпі.

Повідомлення про нове відкриття з особливою увагою слухав французький фізик, математик і хімік, академік Ампер, який відчув тоді, що настала його пора перед усім світом прийняти з рук Ерстеда естафету відкриття.

Андре Марі Ампер (1775—1836) докладно дослідив ідеї Ерстеда і вже через тиждень запропонував «правило плавця» для визначення відхилення магнітної стрілки струмом. Продовжуючи ці дослідження, Ампер відкрив механічну взаємодію електричних струмів і встановив кількісні співвідношення для визначення сили цієї взаємодії (закон Ампера). Учений також розділив два поняття — струм і напруга, встановив напрямок струму в замкнутому колі, тому не випадково одиниця сили струму має його ім'я. Ампер відкрив також, що паралельні провідники зі струмами, що течуть в одному напрямку, притягуються один до одного, а в протилежному — відштовхуються. Фактично він розробив теорію магнетизму, де подав магніт як сукупність колових електричних струмів, розташованих у площинах і перпендикулярних до лінії, що з'єднує полюси магніту. Розвинена ним теорія змогла пояснити різні види взаємодії: магнітостатичні, електромагнітні й електродинамічні.

Перші дослідження в галузі електрики були в основному зо-

і в цьому суть відкриття вченого, чий ім'ям названа одиниця напруженості магнітного поля — ерстед.

Відкриття Ерстеда привело до виникнен-



Андре Марі Ампер



Георг Симон Ом

Дуже емоційно відгукнувся про заслуги Ома його американський колега Дж. Генрі: «Коли я вперше прочитав теорію Ома, то вона мені здалася блискавкою, що раптом освітила кімнату, занурену в пітьму». Дійсно, чудові досягнення в розвитку електротехніки могли бути досягнуті тільки на основі відкриття Ома.

Уже в перших дослідах Ом помітив, що магнітна дія струму при замиканні кола довільним дротом згодом зменшується. Це зниження практично не припинялося із часом, і стало зрозуміло, що займатися пошуком закону електричних кіл при такому стані речей безглуздо. Ситуація розв'язалася, коли йому порадили скористатися краще звичною термопарою «мідь—вісмут». Тепер учений у ланцюг включав послідовно вісім мідних дротів однакового діаметра, але різної довжини, а силу струму вимірював за допомогою свого роду крутильних ваг.

Слід сказати, що обидва закони Ома були спочатку відкриті експериментальним шляхом у 1826 році й лише через рік теоретично доведені в інтегральній та диференціальній формах. Фактично Ом відкрив величину, що нині її називають електричним опором провідника й вимірюють в одиницях, названих на його

середжені на активних елементах — джерелах електрорушійної сили, а пасивним провідникам практично не приділялося уваги, бо вважалося, що вони ніяк не перешкоджають руху струму. Однак уже Стефано Маріаніні, провівши кілька дослідів, помітив, що кожен елемент вольтового стовпа є перешкодою для проходження струму. Тому першовідкривач опору провідників, німецький фізик Георг Симон Ом (1789—1854) визнавав заслуги Маріаніні, хоча у своїх дослідженнях майже не спирався на його досвід.

Зайнявшись дослідженнями електрики, Ом почав експериментувати з різними провідниками, поступово визначаючи їхню відносну величину провідності. Для цього він застосував метод, що став нині класичним: підключав послідовно між двома точками кола тонкі провідники з різних матеріалів однакового діаметра й змінював їхню довжину так, щоб постійно виходила певна сила струму

честь. У наш час закони Ома для ділянки кола й для повного кола настільки вживані, що серед школярів побутує такий жарт: «Не знаєш закону Ома — сиди вдома».

Серед найславетніших учених XIX століття почесне місце посідають Майкл Фарадей (1791—1867) і Джеймс Клерк Максвелл (1831—1879). Обидва вони мали дуже широке коло наукових інтересів і були людьми різнобічними. Але, ймовірно, найзначнішою роботою кожного з них, яку слід було б розглядати, як величезну їхню спільну працю, хоча вони разом ніколи не працювали, є робота, пов'язана з вивченням електромагнітного поля.

Кілька слів про Фарадея. Він народився в родині лондонського коваля і вже в 14 років змушений був перервати навчання й піти учнем до палітурника. Але бажання пізнати природу всіх явищ привело його на посаду скромного лаборанта до відомого хіміка Г. Деві. У 22 роки Майкл одержав можливість проводити дослідження самостійно, а в 33 роки вже став членом Лондонського королівського товариства. Перший період наукової діяльності Фарадея був присвячений хімії: він зумів одержати бензол, а його роботи зі скраплення газів набули широкої популярності.

Починаючи з 1821 року інтереси Фарадея зосередилися на електриці. Саме йому належить заслуга відкриття, що в основі всіх видів електрики («електрика тертя», «термоелектрика», «тваринна електрика», «гальванічна», «магнітна») по суті одне й те саме явище, що всі вони якісно тотожні й відрізняються тільки кількістю й інтенсивністю. Для визначення кількості електрики Фарадей багато займався дослідженням електролізу — процесу розкладу речовини в результаті проходження електричного струму через неї, і встановив основні якісні закони електролізу, що тепер мають його ім'я. Закони електролізу стали фундаментом нової науки — електрохімії.

Фарадей був людиною не тільки рідкісного таланту, але й надзвичайної цілеспрямованості. Знаючи про досліди Ерстеда, він поставив перед собою завдання з іншим напрямом — перетворити магнетизм на електрику — і домогся цього дослідним шляхом. Відкриті Фарадеєм явища обертання магні-



Майкл Фарадей

Фарадей першим у світі застосував свою теорію на практиці — в 1821 році він побудував перший у світі електродвигун. Видатний учений виявився не тільки винахідником, а й популяризатором науки. Його книжка «Історія свічки» написана так захоплююче, що її цікаво читати кожному незалежно від віку та освіти.

електричними й магнітними явищами, що в підсумку привело до відкриття й установлення законів електромагнітної індукції.

Фарадей відкрив, що між магнетизмом і електрикою існує прямий динамічний (а не статичний) зв'язок. Це мало величезне практичне значення, оскільки означало можливість одержання електричного струму механічним шляхом, а з іншого боку — можливість приведення в дію машин за допомогою електричного струму. По суті, в цьому відкритті Фарадея полягала доля всієї важкої електропромисловості, однак минуло мало не п'ятдесят років, коли з'явилася можливість застосувати його відкриття на практиці й мати з нього вигоду. Неможливо переоцінити практичне значення відкриттів Фарадея — адже всі машини сучасної електротехнічної промисловості — генератори, трансформатори, електромотори — засновані на електромагнітній індукції. Сюди ж слід віднести й телефон.

Записні книжки Фарадея свідчать про те, як багато сил і часу він витратив на розкриття зв'язків між усіма «силами», які тільки були відомі фізиці на той час — електрикою, магнетизмом, теплотою, світлом. За допомогою цілої серії дотепних дослідів він фактично зміг розкрити кожен із цих зв'язків і попутно відкрити багато інших явищ (парамагнетизм і діамагнетизм), повне пояснення яких ми можемо очікувати вже в наш час. Відкриття ж обертання площини поляризації світла в магнітному полі (ефект

Джеймс Максвелл відомий ще й тим, що заснував у Кембриджі першу в Англії спеціально обладнану фізичну лабораторію. Серед інших заслуг ученого: дослідження овальних кривих (до речі, виконані в 15-літньому віці); доведення теореми пружності й опору матеріалів, відомої як теорема Максвелла; формулювання в кінетичній теорії газів закону про розподіл молекул ідеального газу за їх швидкостями; низка великих праць з оптики, теорії пружності, молекулярної фізики.

ту навколо провідника зі струмом і провідника зі струмом навколо магніту були покладені в основу лабораторної моделі електродвигуна, і сам по собі цей факт наочно свідчив про наявність зв'язку між

Фарадея) довело існування зв'язку світла з магнетизмом і поклало початок магнітооптиці. В 1837 році вчений виявив вплив діелектриків на електричну взаємодію й увів поняття діелектричної проникності. (На його честь названа одиниця ємності — фарада.)

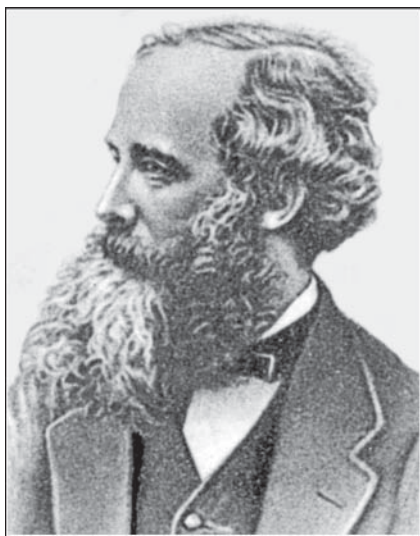
Він висловив ідею про поширення електричної й магнітної взаємодій через проміжне середовище, думку про єдність сил природи (різних видів енергії) і їхнє взаємне перетворення.

У трьох томах своєї головної праці «Експериментальні дослідження з електрики» Фарадей розповів світу про відкриття явища електромагнітної індукції; описав конструкцію уніполярної динамомашини — першого генератора електричного струму; вивів основні закони електролізу; і, нарешті, прийшов до відкриття нової в науці ідеї силових ліній, а потім і електромагнітних полів.

Згодом ідея існування електромагнітних полів була математично доведена Максвеллом.

У 1855 році Джеймс Клерк Максвелл почав дослідження «Про фарадееві силові лінії», що продовжував, по суті, протягом усього життя. «Я намагався, — писав учений, — подати математичні ідеї в наочній формі, користуючись системами ліній або поверхонь, а не вживаючи тільки символи, які не дуже придатні для викладу поглядів Фарадея і не цілком відповідають природі тих явищ, що пояснюються». У результаті Максвелл вивів перше у світі визначення електромагнітного поля — це та частина простору, що містить у собі й оточує тіла, які перебувають в електричному або магнітному стані.

Максвелл блискуче завершив розробку ідеї Фарадея про електромагнітне поле, створивши теорію електромагнетизму. Вчений розкрив закони електромагнітного поля у вигляді системи із чотирьох диференціальних рівнянь, які лягли в основу електродинаміки. Подальший розвиток цієї теорії привів його до відкриття електромагнітної природи світла.



Джеймс Клерк Максвелл

Сучасна фізика

До кінця XIX століття в основному завершилася побудова класичної фізики. Наприкінці XIX — на початку XX століття у фізиці були зроблені важливі відкриття, які значною мірою видозмінили класичну фізику й внесли революційні ідеї в розуміння навколишніх фізичних явищ, насамперед на рівнях мікро- і мегасвіту.

Усе у світі відносно

Одним із перших найвагоміших відкриттів XX століття слід назвати, звичайно, загальну та спеціальну теорії відносності фізика-теоретика Альберта Ейнштейна (1879—1955). Але треба сказати, що до нього декілька вчених вже побачили, що не завжди можна скористатися законами ньютонівської фізики, коли йдеться про рівні мікро- і мегасвіту. Це Альберт Майкельсон, Гендрік Антон Лоренц та Жюль Анрі Пуанкаре.

Теорія відносності, створена Ейнштейном, являє собою загальну теорію простору, часу й тяжіння. Слід розрізняти теорію відносності, що описує фізичні явища в інерціальних системах відліку (завершена в 1905 р.), і загальну теорію відносності про закони гравітаційних полів (завершена в основному в 1916 р.). Усього два основних постулати відрізняють спеціальну теорію відносності від класичної фізики.

Перший твердить, що в усіх інерціальних системах відліку закони механіки однакові. Це значить, що будь-який експеримент дасть той самий результат у будь-якій інерціальній системі. А другий постулат спеціальної теорії відносності говорить, що існує гранична швидкість поширення взаємодій. Вона збігається зі швидкістю світла у вакуумі, і дослід доводить правоту цього твердження.

Ці постулати приводять до багатьох чудових і дивовижних наслідків, що впливають із теорії, до парадоксальних, на перший

Теорія відносності заснована на тому, що поняття простору й часу на противагу механіці Ньютона не абсолютні. Простір і час, за Ейнштейном, органічно пов'язані з матерією й між собою. Можна сказати, що завдання теорії відносності зводиться до визначення законів чотиривимірного простору, три координати якого є координатами тривимірного об'єму (x, y, z), а четверта координата — час (t).

полягає в зміні геометричних властивостей, у викривленні чотиривимірного простору навколо тіл, які створюють поле тяжіння. Теорія експериментально підтвердилася у викривленні світлового променя в полі тяжіння Сонця, зсуві перигею Меркурія й гравітаційному червоному зсуві.

Слідом за цим Ейнштейн сформулював й загальну теорію відносності, у якій стверджувався принцип еквівалентності поля тяжіння й прискореного руху. Основним постулатом теорії знову ж таки стала вимога інваріантності законів фізики в будь-яких

погляд, відмінних від звичної нам фізики Ньютона. Створенням загальної теорії відносності (або сучасної релятивістської теорії тяжіння) Ейнштейн установив зв'язок між простором-часом і матерією. Він пояснює сутність тяжіння, яка

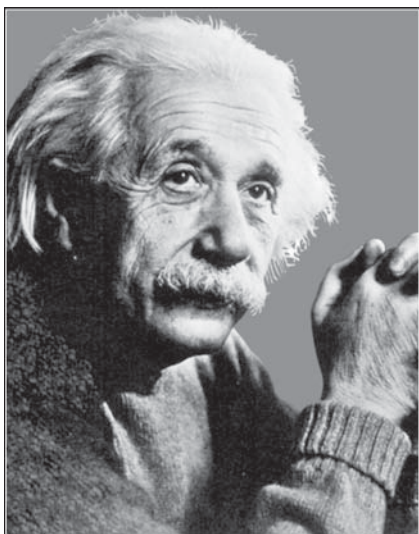
системах відліку, в тому числі і неінерціальних. Ця теорія так само експериментально підтвердилася дослідженнями відхилення світлового променя в гравітаційному полі, а також і іншими астрономічними спостереженнями.

Починаючи з 1933 року, Ейнштейн досліджував питання космології і єдиної теорії поля, розробка якої триває й нині.

Творець спеціальної й загальної теорій відносності докорінно змінив уявлення про простір, час і матерію. Ейнштейнівські теорії змусили переглянути основні положення класичної фізики, що стосується

руху зі швидкостями, порівнянними зі швидкістю світла. Всі положення й висновки спеціальної теорії відносності підтвердилися в численних експериментах. У 1905 році вчений відкрив ще й закон взаємозв'язку маси й енергії, що лежить в основі розрахунку енергетичного балансу ядерних реакцій, всієї ядерної фізики.

Тепер уже теорія відносності вважається частиною класичної фізики, оскільки не суперечить її основним законам, а лише розширює сфери її застосування. Крім того, об'єднавши поняття простору й часу, енергії й маси, тяжіння й інерції, ця теорія певною мірою втілила основну ідею XIX століття щодо створення єдиної картини світу.



Альберт Ейнштейн

Квантова теорія

Після того як наприкінці XIX століття фізика розділилася на дві великі частини: на фізику матерії й фізику випромінювання, деякі вчені почали вважати, що струнка будова цієї науки вже завершена й залишилося завершити лише деякі деталі. Тому, коли Макс Карл Ернст Людвіг Планк (1858—1947) вчився у Мюнхенському університеті, один з викладачів радив йому не пов'язувати своє майбутнє з фізикою. Але молодий науковець не дослухався до порад і через роки став одним із фундаторів нової фізики, що дістала назву квантової.

Слід сказати, що вчені впродовж тривалого часу намагалися знайти формулу, яка б точно й у повній відповідності до експерименту описувала спектр випромінювання абсолютно чорного тіла,



Макс Карл Ернст Людвіг Планк

«Закон випромінювання Планка дав перше точне визначення абсолютних величин атомів... Більше того, він переконливо показав, що крім атомістичної структури матерії існує свого роду атомістична структура енергії, керована універсальною сталою, введеною Планком. Це відкриття стало основою для всіх досліджень у фізиці XX століття», — говорив А. Ейнштейн.

тим, що випромінювання має переривчастий характер. Планк зміг обґрунтувати своє відкриття лише за допомогою чудового припущення, що енергія коливання атомів не довільна, а може набувати лише ряду певних значень. Учений установив, що світло з певною частотою коливання повинно випромінюватися й поглинатися порціями, причому енергія кожної такої порції дорівнює частоті коливання, помноженій на спеціальну константу, що дістала назву сталої Планка? або кванта дії. Вважаючи, що енергія кванта пропорційна частоті коливання, Планк сформулював закон випромінювання абсолютно чорного тіла, тобто закон розподілу енергії в спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла. В 1918 році Максу Планку за відкриття кванта дії була присуджена Нобелівська премія в галузі фізики.

що повністю поглинає світло. Експериментатори давно визначили, що спектр нагадує горб верблюда, вершина якого (там випромінювання максимальне) відповідає певній довжині хвилі, значення якої залежить від температури. Для визначення випромінювання існувало дві формули. Одна підходила для короткохвильової частини спектра (так звана формула Віна), а друга — лише для довгохвильової (формула Релея). Треба було з цих формул одержати універсальну і вивести нову формулу, яка абсолютно точно описувала б спектр випромінювання чорного тіла. Це і зробив Макс Планк.

З 1896 року він зацікавився вимірюваннями, а також проблемами теплового випромінювання тіл. Проводячи свої дослідження, вчений звернув увагу на нові фізичні закономірності й на основі експерименту відкрив закон теплового випромінювання нагрітого тіла.

При цьому він зіштовхнувся з

Протягом усього життя Планк не раз переглядав своє попереднє розуміння квантової теорії й завжди з інтересом і увагою ставився до досягнень інших учених. Як найавторитетніший представник атомної фізики, він високо оцінив квантову теорію Н. Бора й появу квантової механіки.

Квантова механіка — це фундаментальна фізична теорія динамічної поведінки всіх елементарних форм речовини й випромінювання, а також їхніх взаємодій. Вона являє собою теоретичну основу, на якій будується сучасна теорія атомів, атомних ядер, молекул і фізичних тіл, а також елементарних частин, з яких все це складається. Квантову механіку створили вчені, які прагнули зрозуміти, як побудований атом. Протягом багатьох років фізики, й особливо хіміки, вивчали атомні процеси. Не вдаючись у подробиці теорії, будемо додержуватися історичного ходу розвитку.

Майже півстоліття датського фізика Нільса Генріка Давіда Бора (1885—1962) вважали визнаним лідером у квантовій теорії, а заснований ним у 1920 році в Копенгагені Інститут теоретичної фізики (нині — Інститут Нільса Бора) в 1920—1930 роки справедливо вважався міжнародним центром цієї нової науки, що бурхливо розвивалася. Ім'я Бора передусім пов'язують із заснованою ним на основі атомної моделі Резерфорда квантовою фізикою атома (про це докладніше в розділі «Наріжні цеглинки будови матерії») і з так званим принципом додатковості. Однак ще до цього відкриття Бора німець Вернер Карл Гейзенберг (1901—1976) на підставі квантової фізики атома розробив квантову механіку.

Гейзенберг після закінчення Мюнхенського університету проходив стажування в Макса Борна, найвідомішого вченого, який був упевнений, що атомний мікросвіт настільки відрізняється від макросвіту, описаного класичною фізикою, що дослідникам при вивченні будови атома не можна користуватися звичними поняттями. Основа мікросвіту — кванти, які неможливо було зрозуміти або пояснити з позицій класичної фізики. Ці ідеї Борна знайшли відгук у молодого вченого, і вже в 1925 році він виконав роботу по вивченню інтенсивності спектральних ліній, що стала першим кроком на шляху створення квантової механіки.

На той час квантова фізика нагадувала якесь накопичення гіпотез, і Гейзенберг поставив для себе завдання — створити теорію,

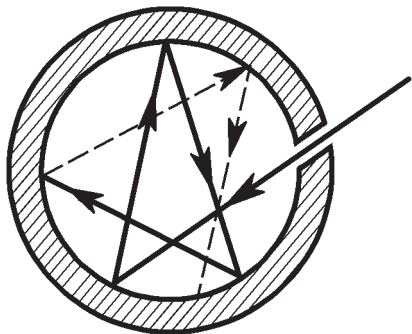


Схема чорного тіла, що повністю поглинає світло



Вернер Карл Гейзенберг



Нільс Генрік Давід Бор

у якій будуть задіяні тільки експериментальні дані про атом, отримані при вивченні світла, яке він випромінює. Одного разу вчений зрозумів, що не можна уподібнювати рух електрона в атомі до руху маленької кульки по траєкторії, оскільки такої траєкторії в атомі немає, а замість безперервної кривої є набір дискретних чисел, значення яких залежить від номерів початкового та кінцевого станів електрона. Він представив стан атома у вигляді нескінченної шахівниці, у квадратах якої написані числа. Пізніше всі зрозуміли, що ця «дошка» — не просто таблиця, а матриця. Відкриття Гейзенберга полягає в тому, що він знайшов відповідність між властивостями матриць і особливостями руху електронів в атомі і таким чином став засновником нової атомно-квантової матричної механіки. За її допомогою стало можливим показати, що гіпотеза Планка про кванти

Лазер являє собою джерело монохроматичного когерентного світла з високою спрямованістю світлового променя. Саме слово «лазер» складене з перших букв англійського словосполучення «посилення світла в результаті змушеного випромінювання». Дійсно, процес, що визначає дію лазера, — це змушене випускнення випромінювання, яке відбувається при взаємодії фотона із збудженим атомом при точному збігу їхніх енергій.

випромінювання — це дуже простий і природний наслідок нової механіки. Ідеї Гейзенберга підхопили інші фізики, і невдовзі, за висловом Бора, вона набула «вигляду, який за своєю логічною завершеністю та загальністю може конкурувати з класичною механікою».

Тільки на початку 50-х років минулого століття відбулося велике відкриття в оптиці: радянські фізики Н. Г. Басов і О. М. Прохоров, а також американський фізик Ч. Х. Таунс виявили стимульоване випромінювання в молекулярних системах (Нобелівська премія з фізики, 1964 р.), передбачене ще Ейнштейном при описові взаємодії електромагнітного випромінювання з молекулами. Це стало основою створення оптичних квантових генераторів, а на початку 60-х років були відкриті можливості лазерних променів і сконструйовані перші лазери, які багато в чому визначили розвиток сучасної науки. Лазери широко застосовуються в спектроскопії, голографії, оптоелектроніці, інформаційних технологіях, медицині й інших галузях науки й техніки.

Наріжні цеглинки будови матерії

До середини XIX століття атомно-молекулярна теорія будови речовини вже посіла досить міцні позиції, і роботи з подальшого більш глибокого проникнення в мікросвіт тривали. У другій половині XIX століття після появи вакуумних насосів при дослідженні електричного розряду в газах були виявлені катодні промені, які викликали флуоресценцію скла газорозрядної трубки. Англійський учений Вільям Крукс (1832—1919), який проводив ці роботи у своїй приватній лабораторії в Лондоні, встановив, що катодні промені мають матеріальну природу й відхиляються в магнітному полі. Він висунув гіпотезу, що це четвертий «ультрагазоподібний» стан матерії. В 1895 році французький фізик Жан Батист Перрен (1870—1942) відкрив, що це негативні електричні заряди. В 1897 році Джозеф Джон Томсон експериментально, з використанням впливу електричного й магнітного полів, підтвердив матеріальну природу нових часток — електронів і визначив для них відношення заряду до маси й швидкість.

Різними шляхами фізики йшли до все нових й нових відкриттів. Так, наприклад, усім відомі рентгенівські промені були відкриті цілком випадково, але, слід сказати, що мало хто з учених того часу міг зрівнятися в продуманості дослідів, у точності вимірювань і ретельності аналізу можливих помилок з німецьким фізиком Вільгельмом Конрадом Рентгеном (1845—1923). Його стихією був експеримент, і він виконав безліч досліджень, у тому числі надзвичайно важливих для молекулярної фізики, кристалофізики, електродинаміки. Науковець перший експериментально довів, що заряди створюють магнітне поле лише тоді, коли рухаються. Але всесвітню славу вченому принесло знамените відкриття «нового типу променів», які тепер називають рентгенівськими. Надзвичайна спостережливість дала змогу Рентгену відкрити явище, яке протягом багатьох років було буквально «під руками» у сотні його колег.



Вільгельм Конрад Рентген

В 1901 році Рентген став першим ученим світу, що одержав Нобелівську премію з фізики. Відкриті ним промені він завзято йменував Х-променями, хоча в усьому світі їх уже називали його ім'ям. Його ім'ям названа й одиниця експозиційної дози радіоактивного випромінювання — рентген. Першовідкривач навіть не взяв патент на своє відкриття, подарувавши його всьому людству.

Тільки металеві предмети відкидали на екран тінь.

Нарешті, зацікавлений незвичайним явищем, Рентген помістив на шляху невідомих променів (Х-променів) власну руку, і на екрані з'явилося тіньове зображення кістяка руки — м'які тканини були прозорі для випромінювання, а кістки майже не пропускали його. Мабуть, жодне з наукових відкриттів того часу не викликало такого величезного й загального інтересу, як виявлення Х-променів, що проходили крізь стіни й одночасно давали змогу бачити невидиме. Однак з'ясувати на той час природу загадкового явища вчений не зміг, бо тоді ще не знали не тільки про ефект гальмування електронів, але навіть і про їхнє існування.

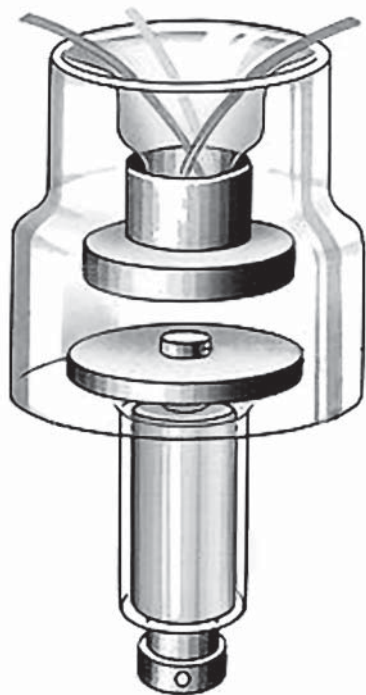
Це відбулося в листопаді ввечері 1895 року. Рентген проводив досліди з електричним розрядом у газах, використовуючи при цьому скляну трубку з упаяними в неї двома електродами й відкачану до тиску $\sim 10^{-5}$ від атмосферного. Коли на електроди подавалася висока напруга, скло навколо позитивного електрода (анода) починало світитися жовто-зеленим світлом. Це світіння, вважали фізики, зумовлено дією катодних променів. Рентген же для майбутнього досліду загорнув розрядну трубку в чорний папір, що не пропускає звичайне світло. У кімнаті було темно, й це дало йому змогу помітити, що кристали солі барію, які лежали неподалік від трубки, випромінюють дивне слабе світло. Але щойно вчений зняв із трубки напругу, як світіння зникло. Тоді Рентген установив неподалік від неї екран, покритий сіллю барію, — екран засвітився. Учений почав поміщати між трубкою й екраном різні предмети: картон, папір, ебонітову пластинку — екран продовжував світитися рівно-

Учений активно сприяв практичному застосуванню відкритих ним променів у медицині. Окрім неї рентгенівські промені (а точніше, рентгеноструктурний аналіз) використовуються у фізиці, хімії, біології, техніці і навіть у криміналістиці й мистецтвознавстві. 1962 рік можна вважати роком народження рентгенівської астрономії. Так званими детекторами ядерних випромінювань досліджувалися Сонце і зірки і за рентгенівським випромінюванням було відкрито багато космічних об'єктів, невидимих через земну атмосферу, а також рентгенівські пульсари.

Вочевидь, що відкриття рентгенівських променів відіграло важливу роль в історії фізики, наприклад, воно дало поштовх відкриттю радіоактивності (про це докладніше в розділі «Королева перетворень»). За ним також пішли інші нові відкриття, на основі яких формували сучасні погляди на будову атома й квантову теорію матерії.

Перші спроби уявити собі, якою є структура речовини, з яких «цеглинок» вона складається, робилися вже багато століть тому. Нині важко сказати, хто першим вимовив слово «атом»; припускають, що це був давньогрецький мислитель Демокріт. Початком же атомної фізики — науки, завданням якої є вивчення будови й «життя» атомів, вважають кінець XIX—XX століття. Вже давно було встановлено, що атоми дуже малі і їх неможливо побачити навіть у найсильніший мікроскоп. Однак дослід англійського фізика Чарлза Томсона Ріса Вільсона (1869—1959) показав, що в середовищі пересиченої водяної пари вздовж руху зарядженої частинки в результаті конденсації виникає слід, що складається з дрібних краплинок рідини. (У той час були створені спеціальні досить досконалі пристрої — бульбашкові камери, — що дають змогу фіксувати сліди мікрочастинок.)

Однак атомна фізика як самостійна наука виникла на основі відкриття радіоактивного випромінювання й електрона. Це відкриття зробив відомий англійський фізик Джозеф



Рентгенівська трубка

Електрон — негативно заряджена мікрочастинка з масою всього лише $9 \cdot 10^{-28}$ грамів — один з основних структурних елементів речовини.

перевірити, чи достатньо ретельно були поставлені досліди його попередниками, що домоглися відхилення променів електричними полями. Для цього вчений сконструював спеціальну трубку, у якій катодні промені слухняно притягалися до позитивно зарядженої пластинки і явно відштовхувалися від негативно зарядженої. Тобто поводити себе так, як і належало потоку швидколетючих малесеньких корпускул, заряджених негативною електрикою. Це був дивовжний результат! Він міг, безумовно, покласти кінець усім суперечкам щодо природи катодних променів. Але визначивши природу променів якісно, Томсон хотів також дати і точне кількісне визначення їхнім корпускулам.

Учений сконструював нову трубку з катодом, що прискорює електроди, з пластинками, на які можна було подавати напругу, що відхиляє їх. На стінку, протилежну катоду, він наніс тонкий шар речовини, здатної світитися під ударами частинок. Вийшла трубка, що стала аналогом електроннопроменевих трубок, так добре знайомих нам із телевізорів і радіолокаторів. Мета досліду Томсона полягала в тому, щоб відхилити пучок корпускул електричним полем і компенсувати це відхилення магнітним полем. Висновки, до яких він дійшов у результаті експерименту, були вражаючими.



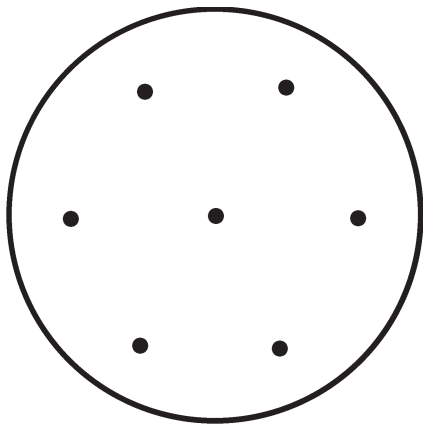
Джозеф Джон Томсон

Джон Томсон (1856—1940). Взявшись за дослідження катодних променів, він насамперед вирішив пе-

По-перше, виявилось, що частинки летять у трубці з величезними швидкостями, близькими до світлової. А по-друге, електричний заряд, який припадав на одиницю маси корпускул, був фантастично великий. Далі Томсон виявив, що відношення питомого заряду до одиниці маси — величина постійна, не залежить ні від швидкості частинок, ні від матеріалу катода, ні від природи газу, у якому відбувається розряд. Отже, корпускули були якимись універсальними частинками речовини, складовими частинами атомів.

У результаті дослідів Томсон зробив відразу три відкриття:

1. Атоми не є неподільними, оскільки з них можуть бути вирвані негативно заряджені частинки під дією електричних сил, удару частинок, що швидко рухаються, ультрафіолетового світла або тепла.
2. Усі ці частинки мають однакову масу, несуть однаковий заряд негативної електрики, від якого би роду атомів вони не походили, і є компонентами всіх атомів.
3. Маса цих частинок менша, ніж одна тисячна маси атома водню.



Модель атома Томсона

Томсон спочатку назвав ці частинки корпускулами, але вони тепер мають назву «електрон». Тож *електрон* — універсальна частинка атомів — був не тільки відкритий, але й обміряний, і став першою з так званих «елементарних частинок». Але оскільки електрони мали негативний заряд, а атом у цілому електрично нейтральний, то неважко було зрозуміти, що атом повинен мати в собі й позитивно заряджені частинки.

Одна з перших моделей атома була запропонована в 1903 році Дж. Томсоном. Вона являла собою позитивно заряджену сферу із вкрапленими в неї негативно зарядженими електронами. Збереження електроном певного місця у сфері, за Томсоном, є результатом рівноваги між позитивно розподіленим зарядом сфери й негативними зарядами електронів. Але ця модель проіснувала порівняно недовго. Досліди, розпочаті в 1907 році Ернестом Резерфордом (1871—1937) і його помічниками, також відомими фізиками Фредеріком Содді та Гансом Гейгером (який, до речі, є винахідником лічильника для вимірювання радіоактивності), дали дивовижні результати.

Резерфорд почав свою наукову кар'єру з розгадки таємниць радіоактивності і став одним з основоположників цього вчення. І будову атома було відкрито завдяки дослідом з розсіювання α -частинок (ядер гелію) металевою фольгою. Ця α -частинка проходила крізь найтоншу фольгу й, потрапляючи на екран із сірчастого цинку, породжувала спалах, добре спостережуваний у мікроскоп. Екран орієнтували під різними кутами до первісного напрямку руху α -частинок і потім підраховували кількість частинок, розсіяних

Теоретично довів існування елементарної частинки — *позитрона* — англійський математик і фізик Поль Дірак у 1928 році, а чотири роки по тому американський фізик Карл Андерсон відкрив її в космічних променях. Відносно електрона позитрон є античастинкою.

в одному на 10 000) спостерігалось розсіювання α -частинок на кут більше 90° . «Це було майже так само неймовірно, — згадував пізніше Резерфорд, — як вистрілити 15-дюймовим снарядом в аркуш цигаркового паперу, а снаряд повернувся б назад і потрапив у вас». Досліди з розсіювання α -частинок переконливо показали, що майже вся маса атома зосереджена в дуже малому об'ємі — атомному ядрі, діаметр якого приблизно в 10 000 разів менший діаметра атома. Більшість α -частинок пролітає повз масивне ядро, не торкаючись його, але зрідка відбувається зіткнення α -частинки з ядром, і тоді вона може «відскочити» назад.

Досліди Резерфорда стали основою для створення ядерної моделі атома, яка й визначає наше сьогодення уявлення про його будову. У центрі атома знаходиться атомне ядро (його розміри приблизно 10^{-14} м); решта об'єму «представлена» електронами. Всередині ядра електронів немає (це стало зрозуміло на початку 30-х років); ядро складається з позитивно заряджених протонів і незаряджених нейтронів (відкриті в 1932 році англійським фізиком Джеймсом Чедвіком).

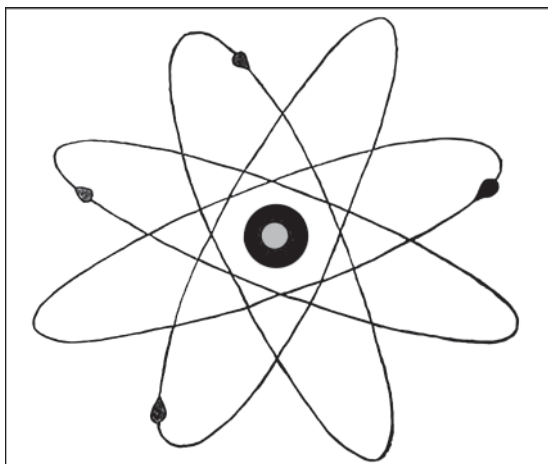
Кількість електронів в атомі дорівнює кількості протонів у ядрі; це є атомний номер даного хімічного елемента — порядковий номер у періодичній системі. Маса електрона майже у 200 разів менша маси протона або нейтрона, через це практично вся маса атома зосереджена в ядрі.

Різні електрони з різною силою утримуються ядром; деякі з них атом може легко втратити, перетворюючись при цьому на позитивний іон. Здобуваючи ж додаткові електрони, атом стає іоном негативним. Під дією електромагнітного



Ернест Резерфорд

випромінювання, наприклад світла, атом збуджується. Причому властивість атома поглинати або випромінювати лише певні для даного елемента кванти енергії, свідчить про його певні енергетичні рівні. При випромінюванні або поглинанні випромінювання атом «перестрибує» (заматрицею Гейзенберга) з верхніх рівнів на нижні й навпаки. Всі ці висновки про «життя» атома було зроблено завдяки відкриттю Резерфорда.



Планетарна модель атома

Але слід сказати, що поняття «планетарна модель» атома (тобто ядро — Сонце, а електрони — планети) ввів Нільс Бор, який на той час був практикантом Резерфорда. Він також відкрив так звані постулати Бора: в атомі завжди існує велика кількість стійких і строго визначених орбіт, на яких електрон може рухатися нескінченно довго, бо всі сили, що на нього діють, є врівноваженими. Електрон може перестрибувати в атомі тільки з однієї стійкої орбіти на іншу таку ж стійку орбіту — фактично Бор відкрив умови стабільності атомів. За створення квантової теорії планетарного атома в 1922 році Нільсу Бору було присуджено Нобелівську премію. Нільс Бор багато зробив і для розвитку ядерної фізики. В 1936 році він запропонував теорію складеного ядра; він є одним із творців краплинної моделі ядра й теорії ділення атомного ядра, він же передвістив спонтанне ділення ядра.

За успіхами Резерфорда й Бора, що відкрили шлях до подальшого пізнання будови атома, почалось якісне пояснення основних властивостей усіх атомів.

У другій половині XX століття при дослідженні ядерних реакцій було відкрито безліч елементарних частинок. Якщо у 1932 році припускалося існування лише трьох елементарних частинок, то в 1947 році їх було відкрито вже 14, у 1955 році — 30, а в 1969 році — близько 200. Серед них можна назвати частинки Хіггса, кварки (у вільному вигляді їх не знайдено, але з цих частинок складаються нуклони та мезони), лептони, фотони, векторні бозони, глюони, гравітіно та гравітони. Щоб така кількість час-



Мюррей (Маррі) Гелл-Манн

тинок не створювала враження хаосу, потрібна була чітка та якісна їхня класифікація. І великий внесок у систематизацію елементарних частинок зробив американський фізик-теоретик Мюррей (Маррі) Гелл-Манн, який у рамках своєї схеми класифікації частинок залежно від їхньої маси спокою передвістив нові частинки, висунув модель «глобальної симетрії», запропонував модель векторної домінантності і, незалежно від ізраїльтянина Ю. Неємана, у 1961 році розробив систематику елементарних частинок (система симетрій Гелл-Манна—Неємана), з допомогою

якої провістив існування чергової нової елементарної частинки, що була відкрита три роки по тому. У 1969 році Гелл-Манну було присуджено Нобелівську премію за відкриття, пов'язані з класифікацією елементарних частинок та їх взаємодії.

Остання систематика Гелл-Манна має також назву «восьмеричної симетрії», бо деякі частинки в ній згруповані по вісім. Восьмеричну симетрію часто порівнюють з періодичною системою Менделєєва, в якій хімічні елементи із схожими властивостями згруповані в ряди. Гелл-Манн, як і російський хімік, також залишив порожніми клітинки в деяких рядах елементарних частинок, зробивши припущення щодо того, які частинки із правильним набором властивостей мають заповнити ці порожнечі... І правильно — сучасні фізики, постійно вдосконалюючи методи дослідження, одержують нові експериментальні й теоретичні результати, і розвиток учення про будову матерії, як і фізики в цілому, триває.

III

НЕОСЯЖНИЙ ВСЕСВІТ





Небесна твердь

З усіх боків нашу планету оточує безкрайїй простір, що має назву Всесвіт, або космос. Цей простір нескінченно різноманітний у своїх видах і проявах: це і великі скупчення небесних тіл, усі види матерії, а також міжзоряна порожнеча. Неосяжний космос вивчає одна з найстаріших наук — астрономія, наука про будову та розвиток космічних тіл, їх систем та Всесвіту взагалі. А само слово «астрономія» походить від двох грецьких слів: «астрон» — світило та «номос» — закон.

Астрономія як наука зародилася у сиву давнину, коли у людини виникла потреба вимірювати час та передбачати зміну пір року, з якими були пов'язані сільськогосподарські роботи, а також для орієнтування під час подорожей пустелею чи морем. Люди знали, що зміна дня та ночі зумовлена сходом і заходом Сонця. Давні спостереження за небом привели до відкриття зв'язку між зміною пір року та такими небесними явищами, як зміна полуденної висоти Сонця протягом року, появою в один і той же час року одних і тих самих яскравих зірок. Таким чином були закладені основи календаря — системи відліку часу, в якій одиницями відліку часу стали доба (зміна дня і ночі) — головна одиниця, місяць (проміжок часу між двома молодиками, тобто між однаковими фазами молодого



Старовинна карта зоряного неба

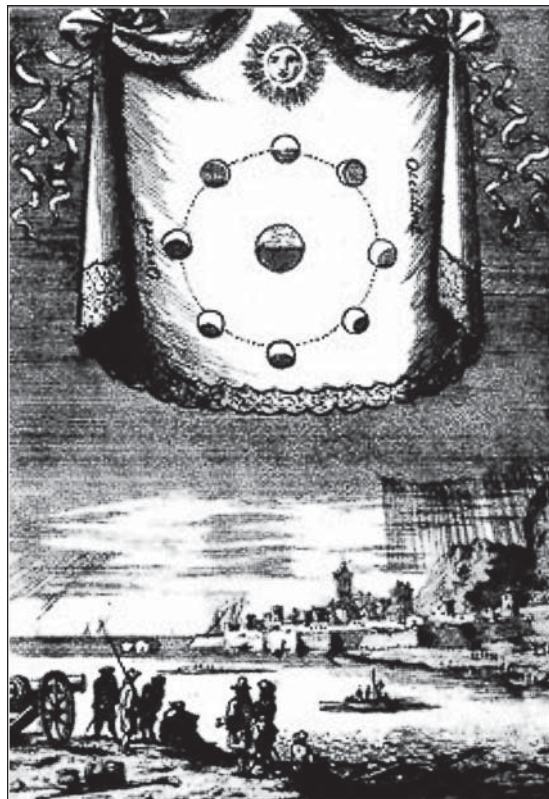
Місяця) та рік — час повного оберту Сонця по небу серед зірок. Спостерігачі час від часу вносили зміни до календаря, але ще не здогадувалися, чому це рік на рік не схожий.

Такі спостереження особливо інтенсивно проводилися в деяких країнах Давнього Сходу. Але й на Американському континенті залишилися докази, датовані 3400-м роком до нашої ери. Йдеться про письмові свідчення, що їх залишив народ майя. Календарні розрахунки майя, що пов'язані з певними астрономічними явищами, іноді знаходяться у співвідношенні з періодом 400 млн років. Вони вражають своєю точністю, особливо коли врахувати, що майя на той час не вміли вести розрахунки, вдаючись до дробів. Проте вони використовували додаткові розрахунки, за допомогою яких вирівнювали дробні числа. Передумовою подібних розрахунків були доволі точні астрономічні спостереження.

З часом спостережливі люди помітили серед «нерухомих» зірок, які не змінюють положення відносно одне одного, ще п'ять об'єктів, що рухалися складними траєкторіями повз сузір'я. Ці

«блукаючі» світила — планети — пізніше дістали назви Меркурій, Венера, Марс, Юпітер та Сатурн.

Спостереження дали змогу помітити на небі також і обриси найбільш характерних сузір'їв і встановити періодичність сонячних і місячних затемнень. Однак давні спостерігачі небесних явищ протягом тисячоліть не здогадувалися про причини, що викликають їх. Зірки та планети вони бачили тільки як світні крапки на небі, але не знали про їхню справжню природу. Люди боготворили світила, вірили, що вони здатні впливати на долі людей і



Давня гравюра зображує затемнення Сонця

народів. Так виникла лженаука астрологія. І хоч справжня наука спростувала вигадки астрологів, проте існує вона і донині.

Наука й релігія протягом століть були глибоко ворожі одна одній. Наука відкривала закони природи й допомагала людям на їх основі використовувати природу у своїх інтересах. Релігія ж, навпаки, завжди вселяла в людей почуття безпорадності й страху перед природою. У давні часи, коли люди не знали законів природи, вплив релігії і її служителів — жерців — на народ був особливо сильним. Жерці у господарському й

політичному житті давніх східних держав відігравали важливу роль, вони були зацікавлені в астрономічних спостереженнях і широко використовували їх. Ці спостереження їм були потрібні також і для встановлення дат релігійних свят.

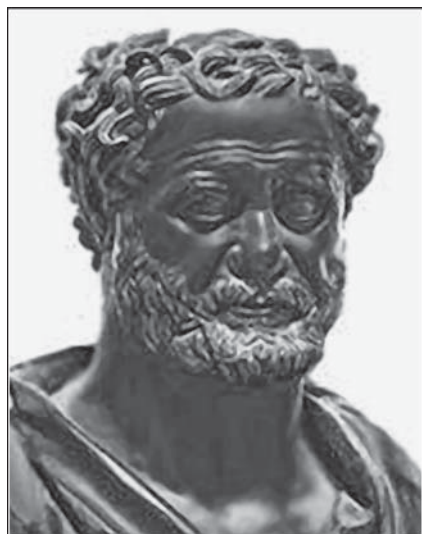
Однак господарський устрій давніх держав з їхнім примітивним землеробством, скотарством і ремеслом, заснованим на ручній праці рабів, ще не вимагав високого розвитку науки й техніки. Тож астрономічні спостереження, що їх вели в державах Давнього Сходу — Єгипті, Вавилоні, Індії, Китаї, — протягом багатовікової історії не могли

Перший запис у китайському каталозі, що реєстрував спостереження за кометами, з'явився ще у 2296 році до нашої ери. А через півтора століття китайські астрономи вже обчислили періоди затемнення Сонця й Місяця.



Фази затемнення Місяця

привести до створення астрономії як науки, здатної пояснити будову Всесвіту. І все-таки астрономи країн Давнього Сходу до-



Геракліт Ефесьський

сягли великих успіхів у спостереженнях за небом, навчилися провіщати настання затемнень Сонця й Місяця, стежили за рухом планет.

У Давньому Вавилоні вважали, що Земля має вигляд опуклого круглого острова, що вільно плаває у світовому океані. На її поверхню спирається тверде небо, до якого причеплені нерухомі зірки та планети, тільки Сонце та Місяць рухаються. Ця вавилонська модель світу зустрічається і у давніх євреїв. Астрономічні знання, накопичені в Єгипті й Вавилоні, особливо в VI—V столітті до нашої ери, запозичили давні греки.

Грецькі вчені в цей час намагалися довести, що Всесвіт існує без участі божественних сил. Грецький філософ Фалес із Мілета в VI столітті до нашої ери вчив, що все існуюче в природі — і Земля, й небо — виникло з одного «первісного» елемента — води. Інші вчені вважали таким «первісним» елементом вогонь або повітря. У тому ж столітті грецький філософ Геракліт Ефесьський висловив геніальну думку стосовно того, що Всесвіт ніколи ніким не був створений, а був і буде завжди, що в ньому немає нічого незмінного — все рухається, змінюється, розвивається. Ця думка Геракліта згодом лягла в основу справжньої науки, яка вивчає закони розвитку природи.

Багато грецьких учених думали, що Земля — найбільше тіло у Всесвіті й перебуває в його центрі. При цьому вони спочатку вважали Землю нерухомим плоским тілом, навколо якого обертаються Сонце, Місяць і планети. Пізніше вчені дійшли висновку, що будова Всесвіту і Землі набагато складніша, ніж це може уявити недосвідчений спостерігач. Наприкінці VI століття до нашої ери Піфагор уперше висловив припущення, що Земля — тіло не плоске, а кулеподібне.

Великим досягненням було вчення грецьких філософів Левкіппа та Демокріта. Вони твердили, що все існуюче складається із дрібних частинок матерії — атомів і що всі явища природи відбуваються без участі богів та інших надприродних сил.

Пізніше, в IV столітті до нашої ери, свої погляди на будову Всесвіту виклав Арістотель — найвизначніший з учених і філосо-



Стоунхендж

Величні споруди Стоунхенджа, культової споруди на південному заході Англії, вказують на те, що давні будівники мали великі знання в галузі астрономічних явищ. Ця споруда являє собою земляні вали та величезні кам'яні плити-стовпи, які утворюють концентричні кола. Деякі вчені вважають Стоунхендж давньою астрономічною обсерваторією.

фів Давньої Греції. Твір Арістотеля охоплює всі галузі знань того часу: фізику, природознавство, історію й інше. Цікавився Арістотель також формою Землі і її місцем у Всесвіті. Він вважав, що Земля й усі небесні

тіла кулясті. Кулястість Місяця він довів, вивчаючи його фази, а кулястість Землі пояснював характером місячних затемнень. На диску Місяця край земної тіні завжди округлий, а це може бути тільки за умови кулястості Землі. Але й Арістотель уважав Землю центром Всесвіту, найбільшим її тілом, навколо якого обертаються всі небесні тіла. Всесвіт, на думку Арістотеля, мав скінченні розміри — його ніби замикає сфера зірок.

Завдяки високому науковому авторитету Арістотеля його вчення на багато століть закріпило помилкову думку, що Земля — нерухомий центр Всесвіту. Цю думку і пізніше поділяло багато грецьких учених. Надалі його як непорушну істину прийняла християнська церква: у Біблії Земля теж уважалася нерухомою. Наприклад, у Біблії говориться, що «Бог... розпростер небеса тверді, як лите дзеркало».

Однак і в Греції після Арістотеля деякі вчені висловлювали сміливі й вірні здогадки про будову Всесвіту. Так Арістарх Са-



На давній гравюрі зображені видатні астрономи. В центрі — покровителька астрономії Уранія, зліва направо: Гевелій, Гасс, Улугбек, Птолемей, Браге, Річчіолі

моський (III ст. до н. е.) уважав, що Земля обертається навколо Сонця. Відстань до Сонця він визначив як 600 діаметрів Землі. Насправді визначена відстань у 20 разів менша дійсної, але для того часу й вона здавалася неймовірно величезною. Водночас Арістарх вважав цю відстань незначною порівняно з відстанню від Землі до зірок. Ці геніальні думки Арістарха, що тільки через багато століть підтвердив М. Коперник, сучасники не сприйняли. Арістарха звинуватили в безбожництві й засудили на вигнання, а його здогади були забуті.

Наприкінці IV століття у Єгипті була заснована Александрійська академія, яка об'єднала кращих учених того часу. Тут протягом кількох століть велися астрономічні спостереження за допомогою кутомірних інструментів. Александрійські астрономи досягли великої точності у своїх спостереженнях і внесли багато нового в астрономію. В III столітті до нашої ери александрійський учений Ератосфен уперше визначив розміри Землі. А в наступному столітті астроном Гіппарх склав каталог більш ніж 1000 зірок із досить точним визначенням їхнього положення на небі. Вчений розділив зірки на шість груп за їхнім блиском. Зірки з найбільшим блиском він назвав зірками першої зоряної величини, зірки із трохи меншим блиском — зірками другої величини і т. ін.

У XVIII столітті великий російський учений М. В. Ломоносов, який все життя боровся за торжество науки над марновірством, писав, що протягом багатьох століть «ідолопоклонницьке марновірство тримало астрономічну Землю у своїх щелепах, не даючи їй рухатися».

Однак учений вважав, що зірки розташовані від Землі на однаковій відстані й розбіжність у їхньому блиску залежить тільки від їхніх розмірів. Не звертаючи уваги на цю помилку,

вчені зберегли назву «гіппархові зоряні величини» як позначення видимого блиску зірок.

Гіппарх також вірно визначив розміри Місяця і його відстань від Землі і обчислив тривалість сонячного року з дуже малою похибкою, що не перевищує шести хвилин.

Усі астрономи тих часів ніяк не могли розрахувати рухи планет і зірок. Він здавався їм украй заплутаним. Планети по небу петляли, мов зайці. Давні астрономи ще не здогадувалися про справжню будову Всесвіту, вважали Землю нерухомою і думали, що планети дійсно роблять такі складні рухи навколо неї. Ще Демокріт (бл. 460—370 рр. до н. е.) твердив, що Всесвіт складається з безлічі світів, причому одні світи народжуються, другі розвиваються, а треті гинуть. Демокріт також вважав, що Чумацький Шлях є скупченням величезної кількості зірок.

Перші спроби побудувати модель Всесвіту належать Євдоксу Кнідському та Арістотелю. Арістотель (384—332 рр. до н. е.) у своїй праці «Про небо» доводить, що Земля — це куля з приблизним діаметром 10 000 кілометрів. Він навіть намагався довести природу тяжіння, але водночас твердив, що Земля не обертається навколо своєї осі, бо це зумовило б виникнення зустрічного вітру.

Від Птолемея до Коперника

У процесі накопичення знань з астрономії, геометрії та механіки погляди на будову Всесвіту поступово змінилися: кулеподібна Земля перебувала в центрі Всесвіту, навколо неї рухалася величезна сфера із зірками. Шедевром античної астрономії вважається праця «Альмагест» видатного александрійського вченого Клавдія Птолемея (II ст. н. е.), який висунув свою систему світобудови. Його математична модель Сонячної системи була названа *геоцентричною* (*geo* — Земля). В ній Сонце, Місяць, планети та зірки рівномірно рухалися навколо Землі за встановленими колами, які згодом були названі орбітами. Але якщо Місяць, Сонце, зірки рухалися по правильному колу, то рух планет був набагато складнішим. Кожна з них, на думку Птолемея, рухається не навколо Землі, а навколо певної точки, яка у свою чергу рухається по колу, в центрі якого



Клавдій Птолемей

перебуває Земля. Коло, яке описувала планета навколо точки, що рухається, Птолемей назвав епіциклом, а коло, по якому рухається точка навколо Землі, — деферентом. Це була математична модель, яка ґрунтувалася на неправильному уявленні про нерухомість Землі, але аналіз рухів планет і побудова таблиць дали змогу Птолемею та іншим астрономам вперше обчислювати положення планет на небосхилі на будь-який час наперед. До того ж Птолемей винайшов прилад, який багато століть застосовувався для визначення широти й довготи місць на поверхні Землі, — астролябію.

Геоцентрична система світу Птолемея, у якій Земля була в центрі світобудови, якнайкраще відповідала християнському віровченню, хоча багато хто з «отців церкви» відмовлялися визнавати навіть кулястість Землі. У християнських країнах здобуло визнання й набуло неабиякого поширення «вчення» ченця Козьми Індикоплова, який вважав Землю пласкою, а небо — кришкою над нею. Це вчення було поверненням до найпримітивніших знань найдавніших народів про будову Всесвіту, але будь-який відступ від цих поглядів християнство жорстоко переслідувало.

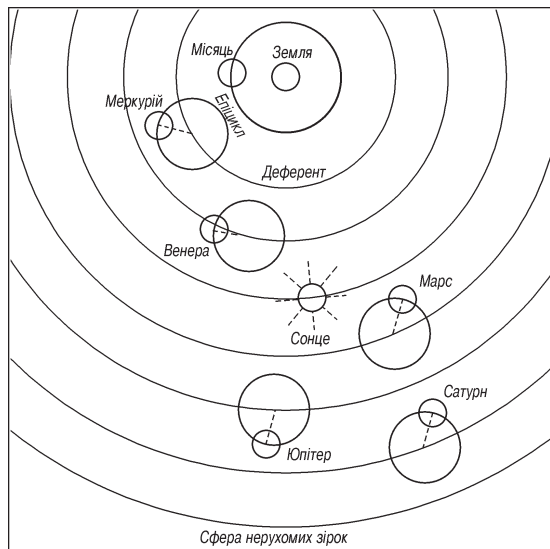
Тривалий час у систему Птолемея додавалися лише невеличкі зміни, але принцип її залишався незмінним, бо церкву, яка проповідувала центральне місце Землі у Всесвіті, ця модель цілком влаштовувала. Тому в середньовіччя східні країни значно обігнали Європу в розвитку науки. Так, в Індії й у заснованому в VII—VIII столітті Арабському халіфаті астрономія зробила великі успіхи й перевершила за точністю спостережень рівень, досягнутий свого часу грецькою астрономією. Арабські астрономи, серед яких найвидатнішими були Аль-Батані (858—929), Абу-ЛЬ-Вефа (940—998), Ібн-Юнус (950—1009) та інші, невпинно вели астрономічні спостереження. Вони виявляли в рухах Сонця, Місяця й планет такі особливості, які не збігалися із системою світу Птолемея. Однак і арабські астрономи не могли перебороти помилкової думки про центральне положення Землі у Всесвіті. Вони також визначали розміри земної кулі тими ж способами, що й Ератосфен, і таким чином зробили послугу географії.

Найбільшого розвитку астрономія досягла в країнах Середньої Азії й у Персії. Середньоазіатські вчені аль-Біруні, Омар Хайям, Насіреддин Тусі були найуспіванішими астрономами середньовіччя. Протягом багатьох століть у низов'ях Амудар'ї процвітала культура Хорезмської держави. У першій половині IX століття у Хорезмі жив і працював чудовий вчений Мухаммед, прозваний аль-Хорезмі

(бл. 780 — бл. 850 рр.). Найвидатніший математик своєї епохи, один із творців алгебри, аль-Хорезмі був також великим астрономом. Він значно поліпшив таблиці рухів планет, складені Птолемеем, і вдосконалив птоlemeївську астролібію.

На кінець X — першу половину XI століття припадає діяльність найвидатнішого хорезмського вченого — аль-Біруні (973—1048). Він працював у різних галузях науки і був видатним астрономом свого часу. Аль-Біруні твердив, що коли б Земля не була кулястим тілом, то багато явищ природи уявлялися б нам зовсім іншими, наприклад, тривалість днів і ночей не мінялася б у різні пори року. Виходячи із правильного уявлення про форму Землі, він визначив довжину окружності великого кола Землі (41 550 км) точніше, ніж це зробили Ератосфен і арабські астрономи. Справжня довжина цього кола, що її установила сучасна наука, дуже мало відрізняється від обчислень аль-Біруні. Вона становить для екватора 40 076 кілометрів. Аль-Біруні також критично ставився до вчення Птолемея й припускав можливість руху Землі навколо Сонця. Таким чином, за 500 років до Коперника він правильно уявляв собі будову Сонячної системи. За свої передові погляди він постійно зазнавав переслідувань з боку мусульманських фанатиків і тричі змушений був залишати батьківщину й жити у вигнанні.

Справжнім революціонером у науці був великий таджицький поет, учений і філософ Омар Хайям (бл. 1040—1123 рр.). Він вважав, що Земля, подібно до інших небесних тіл, рухається в не-



Геоцентрична модель Сонячної системи Клавдія Птолемея

Найвідомішою працею самаркандських астрономів були «Зоряні таблиці» — каталог, що містив точні положення на небі 1018 зірок. Він довго залишався найповнішим і найточнішим; європейські астрономи перевидавали його ще через два століття. Не менша точність була властива й самаркандським таблицям рухів планет.

інші самаркандські астрономи досягли такої точності у своїх спостереженнях, яка півтора століття залишалася неперевершеною. Праці самаркандських астрономів були широко відомі в усьому світі й дуже вплинули на розвиток астрономії. Мусульманські фанатики ненавиділи Улугбека — вільнодумця й віровідступника. У 1449 році Улугбек був убитий.

Розвиток астрономії в Індії пов'язаний з іменами таких видатних астрономів, як Аріабхата (V ст.) — автор знаменитої астрономічної праці «Аріабхатіам», Варахаміхіра (505—587), що вивчав положення планет, Брахма-Гупта (бл. 598—660) — знаменитий математик і фундатор індійської практичної астрономії, який ввів в Індії поняття тропічного року, та інші. Індійські астрономи також висловлювали гіпотези про кулястість і осьове обертання Землі та про «устремління» всіх тіл до Землі, про вічність часу та про безліч всесвітів. Розвитку астрономії в Індії сприяли успіхи індійської математики (перше у світі застосування таблиць синусів і косинусів, введення десяткової системи числення).

«І все ж таки вона крутиться!»

Майже півтора тисячоліття люди були в полоні хибного вчення Птолемея. Учені майже не звернули уваги на ідеї італійських учених Миколи Кузанського і Леонардо да Вінчі, які припускали, що Земля рухається і що вона не перебуває в центрі Всесвіту. Система Птолемея продовжувала панувати не тільки через те, що її підтримувала церква. Річ у тім, що вчені, які висловлювали правильні погляди на будову Всесвіту, ще не могли їх переконливо обґрунтувати. Це зробив Микола Коперник (1473—1543) — видатний вчений епохи Відродження. У 1543 році він видав книгу «Про обертання небесних сфер», що змінила уявлення людей про будову Всесвіту.

Жадоба до знань була властива Копернику з дитинства. Спочатку він учився в Польщі, згодом — в італійських університетах. Звичайно, астрономія там викладалася за Птолемеєм, але Коперник ретельно вивчав і всі праці давніх математиків і астро-

й відстаней між ними, виражених у градусах і хвилинах дуги. Інструменти обсерваторії були найдосконалішими, такими, які тільки можна було тоді виготовити. Користуючись ними, Улугбек та



Микола Коперник

номів, що збереглися. У нього вже тоді виникли думки про те, що Арістарх мав рацію, коли говорив про хибність системи Птолемея. Майже упродовж 30 років Коперник розмірковував над будовою Сонячної системи й поступово прийшов до свого великого відкриття. Після тривалих і складних математичних розрахунків він довів, що Земля — тільки одна із планет, а всі планети обертаються навколо Сонця.

Відкриття Коперника завдало нищівного удару по геоцентричній системі. У своїй книзі вчений твердив, що Земля й інші планети — супутники

Сонця. Він показав, що саме рухом Землі навколо Сонця і її добовим обертанням навколо своєї осі пояснюється видиме переміщення Сонця серед зірок, і дивний, петлеподібний рух планет, і видиме добове обертання небесного склепіння. Однак Коперник, як і давньогрецькі вчені, ще помилково думав, що орбіти, по яких рухаються планети, можуть бути тільки круговими. Зірки Коперник вважав нерухожими, однак твердив, що зірки розташовані від Землі на неймовірно великих відстанях.

Коперник «зупинив Сонце і зрушив Землю»: Сонце в центрі, а навколо нього обертаються планети. Вчений також довів, що Земля обертається навколо Сонця за один рік, а навколо своєї осі — за 24 години. Цим рухом Землі і пояснюється річний рух Сонця поміж сузір'ями. Усі планети також обертаються навколо Сонця, причому період обертання в кожній планеті свій. Таким чином, увесь видимий петлеподібний рух планет дістав дуже просте наукове пояснення, а Земля стала рядовою планетою, а не центром Всесвіту. Сьогодні *геліоцентрична система Коперника* придатна лише для Сонячної системи. Адже й наше світило не є центром Всесвіту. Сонце — це лише одна з багатьох зірок зоряної системи — Галактики. У свою чергу галактичний світ дуже різноманітний за формами об'єктів, що входять до нього. Загальну будову і еволюцію Всесвіту вивчає окрема наука — *космологія*.

Діячі церкви не відразу збагнули, якого удару по релігії завдала наукова праця Коперника, у якій він Землю звів до положення однієї із планет. Якийсь час книга вільно поширювалася

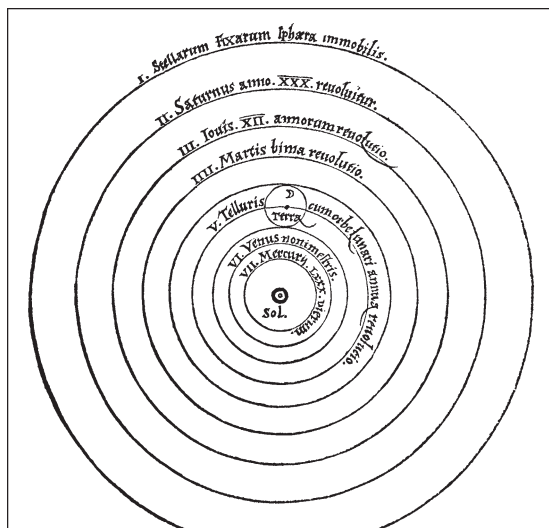
Нове вчення про Сонячну систему дістало назву геліоцентричної моделі (з грецької «геліос» — сонце).

серед учених. Минуло небагато років, і революційне значення великої книги стало

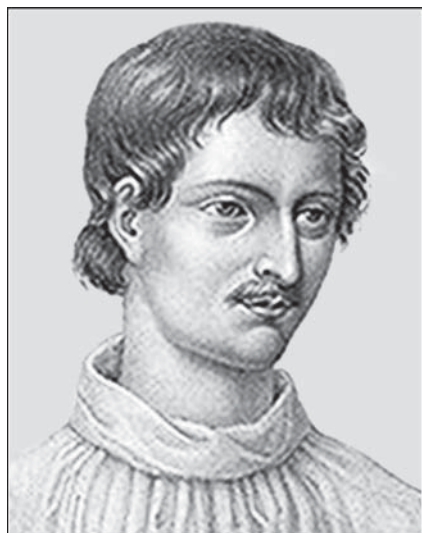
очевидним: інші великі вчені продовжили справу Коперника. Особливо сміливо розвинув і поглибив вчення Коперника великий італійський мислитель Джордано Бруно (1548—1600).

Бруно народився на півдні Італії. Замолоду його віддали в монастир, де він мав стати вірним слугою церкви. Але волелюбний юнак не міг миритися з монастирськими порядками. В ньому прокинулася жадоба до знань і бажання передавати їх людям. Бруно познайомився з ученням Коперника й став його ревним прихильником, чим викликав до себе ненависть монастирського начальства. Тривалий час Бруно проживав у різних країнах Західної Європи. Переслідування церкви змушували його переїздити зі Швейцарії до Франції, потім до Англії й Німеччини. Скрізь він розвивав бурхливу діяльність: читав лекції, видавав свої книги, виступав на публічних диспутах проти прихильників системи Всесвіту Птолемея. Ідеї Бруно на ціле століття випередили свій час. Він твердив, що не тільки Земля чи Сонце, але й ніяке інше небесне тіло не може бути центром Всесвіту, бо він безмежний і таких «центрів у ньому безліч», що величезне Сонце — лише одна із зірок. Кожна зірка — таке саме Сонце. Цих сонць незліченна безліч, вони оточені планетами, на яких може бути життя. Бруно висловив здогад, що й Сонце й зірки обертаються навколо своєї осі, а в Сонячній системі крім відомих уже планет існують і інші, поки ще не відкриті.

Свої геніальні здогади Бруно не міг підтвердити результатами спостережень. У його час не було телескопів. Однак багато передбачень Бруно потім підтвердила наука: були відкриті далекі планети Сонячної системи — Уран, Нептун, Плутон, а також доведено, що Сонце — рядова зірка в гігантській зоряній



Геліоцентрична модель Сонячної системи Коперника



Джордано Бруно

На римській площі Квітів, де було страчено Бруно, нині стоїть пам'ятник з написом: «Джордано Бруно. Від століття, яке він передбачив, на тому місці, де було запалене вогнище».

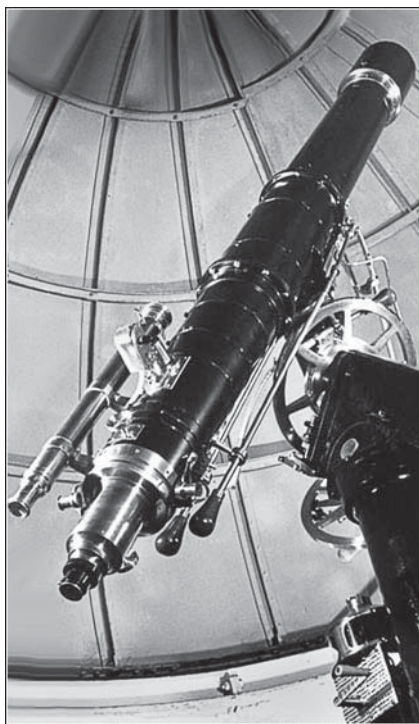
учення Коперника, й деякі припущення Бруно. Перші телескопи з'явилися на початку XVII століття. Важко точно сказати, хто був їхнім винахідником і хто перший почав спостерігати небо в телескоп. Але перші видатні астрономічні відкриття за допомогою телескопа зробив співвітчизник Бруно — італійський учений Галілео Галілей (1564—1642).

Своїми найважливішими відкриттями в галузі фізики й механіки, Галілео Галілей проклав нові шляхи для розвитку цих наук. Він вважав, що основою вивчення природи є спостереження й дослід. Галілей сам будував підзорні труби і використовував їх для спостережень неба. Перша труба, за допомогою якої Галілей почав свої спостереження, збільшувала предмети лише втричі, а остання — вже в 30 разів. За допомогою цих саморобних інструментів Галілей зробив відкриття, що були потрясінням для його сучасників. Спостерігаючи Місяць, Галілей виявив, що на ньому є гори, долини й глибокі западини, тобто поверхня Місяця за своїм рельєфом схожа на поверхню Землі. Він відкрив чотири супутники Юпітера, які обертаються навколо планети, а це означало, що не тільки Земля й Сонце можуть бути центрами обігу

системі Чумацького Шляху, ця система — одна з незлічених у Всесвіті. Те, що Сонце обертається навколо своєї осі, було встановлено невдовзі після смерті Бруно, а що обертаються зірки — одне із завоювань науки XX століття.

Сміливого вченого видав святій інквізиції його учень. Від Бруно вимагали зректися своїх поглядів, але вчений не зрадив собі. Інквізиція звинуватила його в богохульстві, і після семи років ув'язнення в тюремних катівнях Бруно спалили на вогнищі. Коли він почув вирок, то вимовив слова, що залишилися в століттях: «Спалити не значить спростувати».

Через десятиліття після загибелі Бруно у людства з'явилися телескопи, за допомогою яких були зроблені відкриття, що підтвердили й



Телескоп Галілея, сучасний телескоп-рефрактор та космічний телескоп ім. Хаббла



Йоганн Кеплер

небесних тіл. Разом з тим ставало очевидним, що в Сонячній системі окрім уже відомих небесних тіл існує й багато інших, які можна побачити лише в телескоп. Спостерігаючи сонячні плями, Галілей з'ясував, що вони переміщуються по поверхні Сонця завжди в одному напрямку, і зробив правильний висновок: Сонце обертається навколо своєї осі. Так було доведено, що обертання властиве не тільки Землі, але й іншим небесним тілам. Згодом Галілей виявив феномен Сатурна, хоча не зрозумів, з чим це пов'язано, і відкрив фази Венери. При спостереженнях у телескоп він

побачив на небі величезну кількість зірок, які неможливо побачити неозброєним оком. Суцільне саяво Чумацького Шляху виявилося гігантським скупченням зірок.

Усі свої відкриття Галілей виклав у книзі «Зоряний вісник», яка набула великої популярності. Це викликало скажену лют з боку церкви: тепер уже прямі спостереження неба спростовували вчення церкви про Землю як про центр Всесвіту. В 1616 році римська церква офіційно оголосила вчення Коперника безбожним, що не сумісне з «широю вірою», і заборонила будь-яку його пропаганду. Однак Галілей не припинив боротьби. Багато років він працював над великою книгою «Діалог про дві найголовніші системи світу, Птолемеєву і Коперникову» (1632). Галілея було притягнуто до суду інквізиції і силою змушено відректися від учення про рух і обертання Землі. Аж до самої смерті він жив під наглядом інквізиції, але відкриття його були вже відомі всьому світу. Галілей продовжував займатися наукою, головним чином механікою, і стиха проказував: «І все ж таки вона крутиться!»

Одночасно з Галілеєм видатні відкриття щодо будови Сонячної системи й руху тіл у ній зробив німецький учений Йоганн Кеплер (1571—1630), встановивши закони руху планет.

Перші закони

Для того щоб остаточно довести, що вчення Коперника правильне, потрібно було глибше дослідити та виявити закономірності

Перший закон Кеплера: планети рухаються по еліпсах. Сонце розташоване не в центрі еліпса, а в точці, що розташована на певній відстані від центра й називається фокусом еліпса. Але з цього випливало, що відстань планети від Сонця не завжди однакова, а тому й швидкість руху планети навколо Сонця також не завжди однакова: що ближче до Сонця перебуває планета, то швидше вона рухається, і, навпаки, що далі вона від Сонця, то її рух повільніший. Ця особливість у русі планет становить *другий закон Кеплера*. У *третьому законі Кеплера* йдеться вже про зв'язок між відстанями планет від Сонця й часом обертання цих планет навколо нього: виявляється, що квадрати періодів обертання планет співвідносяться між собою, як куби їхніх середніх відстаней від Сонця.

Але вже тоді він набув популярності як чудовий математик-обчислювач і ця обставина відіграла велику роль у подальшому розвитку науки. У 1960 році доля звела його у Празі з астрономом-спостерігачем Тіхо Браге, який з тих же причин був змушений залишити в Данії власну обсерваторію. Разом вони попрацювали лише один рік — Браге помер. І тоді Кеплер почав вивчати багатющий матеріал, який накопичив астроном за довгі роки спостережень. Особливо його зацікавили дані по Марсу. Вивчаючи їх, Кеплер зробив чудове відкриття: він зрозумів, що Марс рухається навколо Сонця не по колу, а по витягнутій кривій — по еліпсу. Потім з'ясувалося, що так рухається навколо Сонця не тільки Марс, але й усі планети Сонячної системи, і навіть Місяць навколо Землі. Продовжуючи свої дослідження, Кеплер відкинув модель епіциклів і вивів три закони руху тіл у Сонячній системі.

На той час це були революційні відкриття, тож книги Кеплера неодноразово палили на багаттях, а його життя за-

руху планет. Цю задачу розв'язав славетний німецький вчений Йоганн Кеплер. Він не приховував своїх поглядів, а відкрито пропагував їх, за що постійно наражався на неприємності з боку церковнослужителів. Самотужки Кеплер дійшов висновку, що планетні орбіти мають не кругову, а іншу геометричну форму. Але яку? У перші роки своєї діяльності Кеплер ще не міг відповісти на це запитання.



Тіхо Браге



Ян Гевелій



Кратери на Місяці

грозувала небезпека з боку церкви. Та засудити вченого на вогнище інквізиція не могла, бо теорія Коперника була математично доведена. Тепер і астрономія стала точною наукою, а успіхи оптики дали їй змогу йти вперед велетенськими кроками.

Збагатив астрономію низкою видатних відкриттів англієць Едмунд Галлей (1656—1742). Він розпочав перші систематичні спостереження зоряного неба в Південній півкулі Землі. Пізніше, вивчаючи за літописами та іншими історичними документами появи комет у минулі століття, Галлей виявив, що вони з'являлися в 1531, 1607 і 1682 роках, наближалися до Сонця, а потім віддалялися від нього тими самими шляхами. Галлей зробив висновок, що у всіх цих випадках з'являлася та сама комета й що вона обертається навколо Сонця, роблячи повний оберт за 75—76 років. У світлі відкриття Галлея стало очевидно, що комети — теж члени Сонячної системи. Відносно комети Галлея (так стали називати комету, рух якої він вивчав) відкриття було підтверджене її появою в 1759 році, відповідно до розрахунків ученого. Для багатьох інших комет відкриття Галлея підтвердилося пізніше.

Важливі відкриття зробив польський астроном Ян Гевелій (1611—1687). Він сам виготовляв собі телескопи й кутомірні інструменти, а в 1641 році побудував у своєму рідному місті Гданську чудову обсерваторію. Особливо уважно Гевелій вивчав Місяць. Він ретельно спостерігав і замальовував всі деталі зверненої до Землі поверхні Місяця й на основі цих спостережень створив перший атлас Місяця. Астроном дав назву горам, кратерам і долинам на

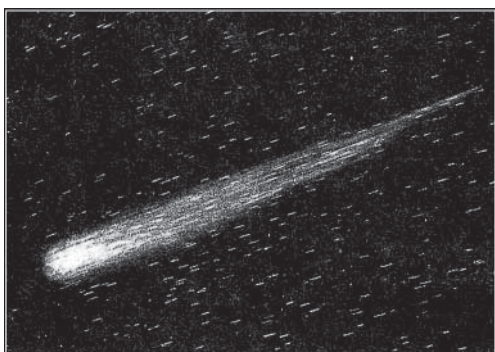
Місяці, багато з яких зберігаються й дотепер. Цей місячний атлас він опублікував у книзі «Селенографія» (1647). Гевелій склав огляд всіх комет, що з'являлися упродовж історичної пам'яті людства, йому ж належить і великий зоряний каталог, більш точний, ніж усі попередні.

Багато зробив для астрономії видатний голландський фізик Хрiстiан Гюйгенс (1629—1695). Ще Галілей, спостерігаючи планети, виявив якісь дивні «придатки» у диску Сатурна, але детальніше розглянути їх у свій телескоп він не зміг. Гюйгенс визначив, що Сатурн оточений

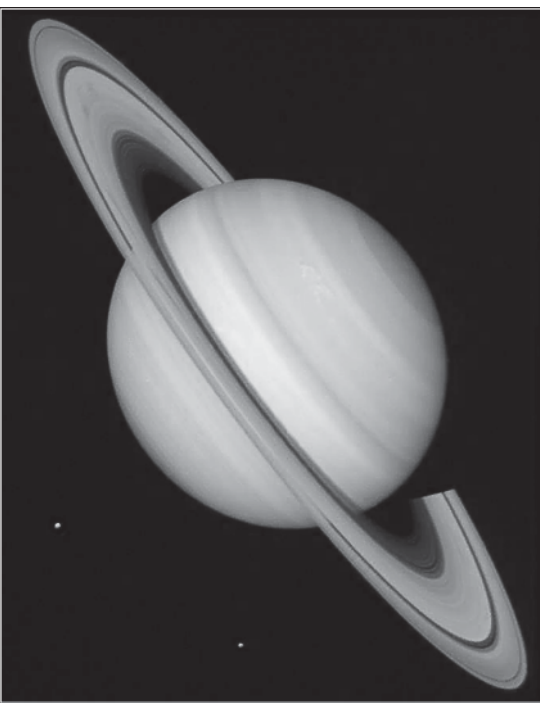


Едмунд Галлей

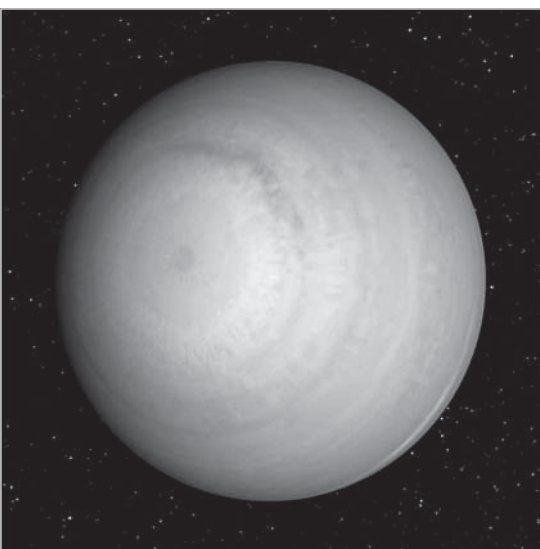
незвичайним утворенням у вигляді кільця, якого немає в інших планет. Гюйгенс відкрив також Титан — найбільший із супутників Сатурна. У 1672 році, завдяки двом французьким астрономам Кассіні й Ріше, які одночасно зробили спостереження з Парижа й з Південної Америки, стали відомі, хоча й не зовсім точно, розміри Сонячної системи, у якій найвіддаленішою від Сонця планетою залишався Сатурн. Але все змінилося після того, як у 1775 році відомий виконавець, диригент і музичний педагог Фредерік Вільгельм Гершель (1738—1882) почав свій перший «огляд неба». У цей час він ще продовжував заробляти собі на життя музичною діяльністю, але його великою пристрастю стали астрономічні спостереження. У перервах між уроками музики він виготовляв дзеркала



Комета Галлея на старовинній гравюрі та сучасний знімок



Сатурн і його кільцева система



Уран

для телескопів, увечері давав концерти, а вночі спостерігав за зірками. Для цієї мети Гершель запропонував оригінальний новий спосіб «зоряних черепків», тобто підрахунку кількості зірок на певних ділянках неба.

13 березня 1781 року під час спостережень Гершель помітив, що між 10 і 11 годиною вечора, по сусідству з Н Близнюків, з'являється бліда зірка, що вирізняється серед інших за розмірами. Вчений запідозрив, що це комета. Об'єкт мав яскраво виражений диск і зміщувався вздовж екліптики. Повідомивши астрономів про своє відкриття, він продовжував спостереження. Характерного для комети хвоста Гершель не виявив, зате зумів обчислити параметри орбіти тіла. Ці складні обчислення виконав петербурзький академік А. І. Лексель (1740—1784), який з'ясував, що «блукаюча зірочка» Гершеля рухається навколо Сонця по майже круговій ор-

біті на відстані, що в 19 разів перевищує відстань Землі від Сонця. Лексель також визначив період обігу тіла навколо Сонця. Він дорівнював приблизно 84 рокам. Із цих обчислень однозначно випливало, що відкрито не комету, а нову, невідому досі планету. Вільям Гершель запропонував назвати нову планету зіркою Георга на честь англійського короля Георга III, але ця назва не набула поширення.

На пропозицію німецького астронома Йоганна Боле (1747—1826) її назвали Уран — іменем, що було взятим з давньоримської міфології.

Уран віддалений від Сонця майже на три мільярди кілометрів і перевищує об'єм Землі більш ніж у 60 разів.

Це унікальне відкриття посіло особливе місце в природознавстві в цілому й в астрономії зокрема, бо звело нанівець старі, традиційні погляди на розміри й структуру Сонячної системи, розширило її межі далеко за орбіту Сатурна. Сонячна система збільшилася в лінійних розмірах у два рази, і тепер її межа проходила по орбіті Урана на відстані 19,2 астрономічної одиниці (а. о.) від Сонця.

Надалі Гершель поступово збільшував діаметри дзеркал. Його вершиною став побудований в 1789 році телескоп-гігант із трубою довжиною 12 метрів і дзеркалом діаметром 122 сантиметри. Цей телескоп залишався неперевершеним до 1845 року, коли ірландський астроном В. Парсонс побудував ще більший телескоп — довжиною майже 18 метрів із дзеркалом діаметром 183 сантиметри. Але й за допомогою свого телескопа Гершель відкрив ще два супутники Урана й два супутники Сатурна. Видатний астроном зробив безліч інших чудових відкриттів. Йому належать унікальні спостереження подвійних зірок і фундаментальні дослідження форми й структури Галактики, а також відкриття періодичного збільшення й зменшення білих шапок у марсіанських полюсів та багатьох інших різноманітних явищ, що відбуваються на Сонці, планетах і супутниках.

Всесвіт поступово розкривав свої таємниці, однак упродовж тривалого часу залишалося незрозумілим, яка сила змушує пла-



Фредерік Вільгельм Гершель

Про Ньютона сучасники казали, що він «перевершував розумом людський рід». Дійсно, геніальність цієї людини була безмежною. Все життя великого вченого було присвячене високій справі служіння науці, він відкрив завісу над багатьма таємницями, що цікавили людство. І навіть через сотні років важко уявити цивілізацію без його видатних відкриттів.

Творець класичної механіки Ісаак Ньютон (1643—1727). Йому, а також вченим того часу вже не загрожувала доля Коперника, Бруно та Галілея, і вони робили сміливі відкриття.

Ніхто з родичів майбутнього генія не міг припустити, що слабе немовля доживе бодай до ранку. Та хлопчик вижив, перший раз довівши свою винятковість. У дитинстві в нього майже не було друзів, бо діти вже тоді усвідомлювали його розумову перевагу. Ісаак дратував дітей: він постійно вигравав у шашки й інші ігри, що вимагають кмітливості, вигадував нові розваги, які компенсували його тілесну немічність. У школі він швидко й легко обігнав усіх учнів класу і за короткий термін став відмінником. У першу чергу Ньютон вирізнявся надзвичайними математичними здібностями, що дало йому змогу закінчити один з найстаріших і найкращих університетів Англії — Кембриджський. Згодом він став професором математики в цьому університеті, а також обіймав важливі суспільні й державні посади.

Колись астрономія не могла розвиватися без математики. Тепер же розвиток астрономії, поряд з розвитком фізики й техніки, висував особливі вимоги до математики. Майже одночасно з німецьким ученим Лейбніцем і незалежно від нього Ньютон створив найважливіші розділи математики — диференціальне та інтегральне числення. У часи Коперника й Кеплера вершиною математичних знань була тригонометрія. Тепер була закладена математична основа для вивчення таких складних особливостей рухів небесних тіл, які були недоступні для елементарної математики. Ньютон побудував відбивний телескоп, або рефлектор. У ньому, на відміну від труби Галілея, промені світла від спостережуваного небесного тіла збираються за допомогою дзеркала, а не лінзи. І в нашу епоху телескопи-рефлектори (тепер вони мають гігантські розміри) є найкращими інструментами для спостереження глибин Всесвіту. Взагалі Ньютон дуже багато зробив для розвитку оптики — найважливішого відділу фізики, що вивчає світлові явища. Однак найчудовішим із усіх відкриттів Ньютона було відкриття закону всесвітнього тяжіння, що управляє рухом небесних тіл.

нети так рухатися, не падаючи на Сонце й не відлітаючи від нього. Звісно, що це стосувалося й супутника Землі — Місяця. Це відкриття зробив славетний англійський математик, механік, астроном і фізик, тво-

Ньютон дійшов висновку, що всі тіла притягають одне одного, при цьому сила притягання тіл підкоряється певним кількісним закономірностям, а саме: сила притягання (тяжіння) прямо пропорційна масам тіл, що притягають, і обернено пропорційна квадрату відстані між ними. Тобто сила тяжіння залежить від маси тіл і відстані між ними. Ньютон не відразу вивів кількісні закономірності сили тяжіння. На це пішло в нього багато років роздумів. Але коли всі обчислення були зроблені, стало зрозуміло, що Місяць утримується на своїй орбіті силою земного тяжіння, а планети, у тому числі й Землю, тримає на їхній орбіті могутня сила сонячного тяжіння. І завжди тяжіння діє так, як показав Ньютон. Фактично Ньютон довів закон тяжіння для Сонячної системи. Тоді ще не було можливості з'ясувати, чи діє цей закон у глибинах світового простору, далеко за межами Сонячної системи. Це стало можливим пізніше, коли було відкрито подвійні зірки — системи із двох (а іноді із трьох, чотирьох і більше) зірок, що обертаються навколо загального центра мас. Вивчення руху зірок у таких системах дало змогу встановити, що й у зоряному світі діє закон тяжіння. Тому законові дали назву закону всесвітнього тяжіння.

Тим часом астрономи робили нові й нові відкриття, використовуючи закони тяжіння Ньютона. Учені, які вели спостереження за Ураном, помітили, що на його орбіту має вплив ще якесь невідоме науці тіло. Найбільш проникливі вчені висловили сміливе припущення, що на рух Урана впливає розташована за ним ще не відома науці значно більша за нього планета. Математик Джон Кауч Адамс (1819—1892) в Англії й астроном Урбен Левер'є (1811—1877) у Франції зуміли математично точно визначити розташування й розміри невідомої планети, яка «збурює» орбіту Урана. Протягом 1845—1848 років вони визначили орбіту планети-невидимки. Однак французькі й англійські астрономи, до яких звернулися Левер'є та Адамс, не збиралися організовувати пошуки нової планети. Тоді Левер'є доручив пошук молодому німецькому астроному Готфільду Галле з Берлінської обсерваторії і його помічнику д'Артесту. Це була клопітка праця: Галле спостерігав зірки і кожну з них називав асистенту, а той знаходив її і помічав в зірковому атласі. Та ось Галле назвав зірку восьмої величини, але в атласі її не було. Так була відкрита восьма планета Сонячної системи — Нептун.

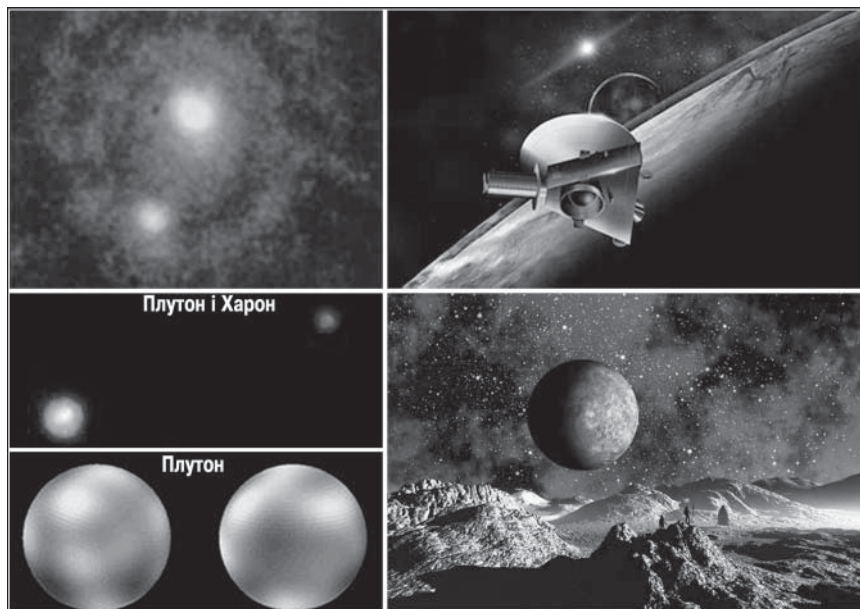
Метод, за допомогою якого було передбачене існування Нептуна, справив неабияке враження на вчених. За рухом Нептуна почали пильно стежити й невдовзі виявили такі значні розходження між спостережуваною й теоретичною орбітами нового світила, які можна було пояснити тільки існуванням ще однієї планети, розташованої за Нептуном!

Про метод відкриття Нептуна і Плутона найкраще сказав знаменитий французький оптик і астроном Франсуа Араго: «Очі розуму можуть замінювати потужні телескопи».

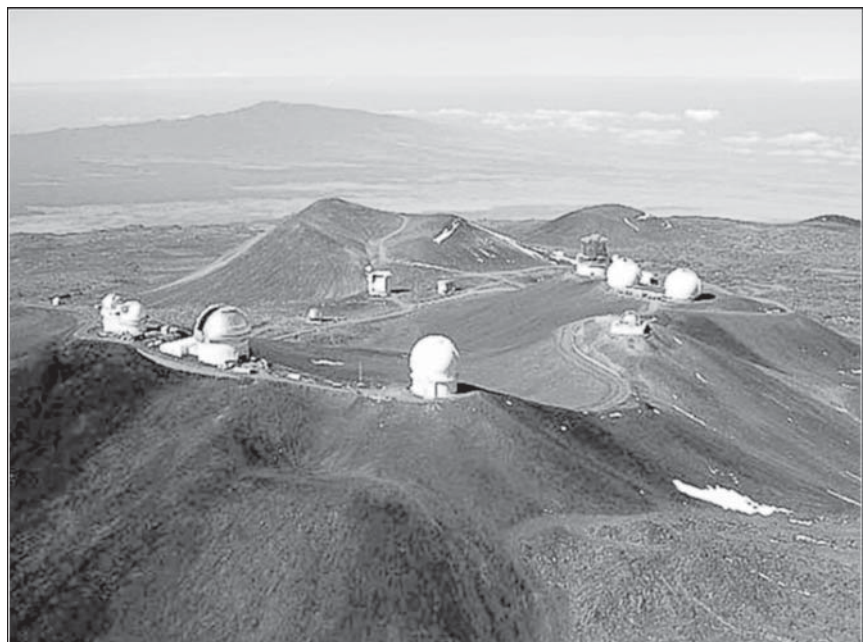
виявив (на відстані, що майже в три рази перевищувала радіус орбіти Нептуна) нову планету Сонячної системи, яка дістала назву Плутон. Таким чином Томбо підтвердив розрахунки відомих астрономів-теоретиків Персіваля Ловелла й Вільяма Пікерінга.

Таким чином, ще до початку ХХ століття вже були досягнуті видатні успіхи в астрономії: відкрито будову Сонячної системи й закони руху небесних тіл, що входять у неї. Стало безсумнівним, що наше Сонце — тільки одна із зірок у нескінченному зоряному Всесвіті. Але вивчення зоряного світу ще тільки починалося, і нові відкриття не примусили себе довго чекати. Навіть у нашій Сонячній системі, яку, здавалося, вивчили уздовж і впоперек, відкрили нову, десятую планету. Американським астрономам Майклу Брауну, Давиду Рабиновичу та Чаду Траджілло з обсерваторії «Джеміні» на гавайському острові Мауна Кеа, які вперше сфотографували планету в жовтні 2003 року, знадобилося 15 місяців спостережень, щоб визначити її розмір і особливості руху. Нова планета є найвіддаленішим відомим космічним об'єктом Сонячної системи. Вона перебуває за 4,5 мільярда кілометрів від Сон-

18 лютого 1930 року молодий астроном Клайд Томбо з Ловеллівської обсерваторії в Америці, нарешті,



Плутон зі своїм супутником Хароном



Панорама обсерваторії Маунт-Кеа

ця — це в 97 разів далі, ніж Земля, і в три рази далі, ніж Плутон. Період її обігу навколо Сонця становить 560 років. Астрономи заважають, що відкрите ними небесне тіло за розмірами й складом подібне до Плутона. За даними дослідників, планета складається із замерзлого метану й скельної породи. Ім'я для нової планети, якій поки що привласнений індекс 2003UB313, уже запропоновано її першовідкривачами на розгляд Міжнародного астрономічного союзу, однак воно буде названо тільки після того, як Союз оголосить своє рішення. Можливо, десята планета матиме ім'я дочки одного з її першовідкривачів — Ліла.

У міжгалактичному просторі

Перед дослідниками постали нові загадки. Так, незалежно один від одного і з розривом майже в сто років астрономи де Шезо (1744) і Ольберс (1826) дійшли висновку, що оскільки простір навколо Землі нескінченний, вічний і незмінний і що він рівномірно і щільно наповнений зірками, то повна кількість світла, яке посилають вони на Землю, має бути нескінченною. Тобто нічне небо буде не чорним, а, м'яко кажучи, залитим світлом. Щоб уникнути цього парадокса, вони припустили існування в космосі великих блукаючих непрозорих туманностей, які затуляють най-

Космологія — сучасна наука про будову і еволюцію Всесвіту.

про вічний Всесвіт, який не змінюється, не є справедливою для космології. Перша математична модель однорідного Всесвіту була побудована радянським математиком О. Фрідманом в середині 1920 років на основі теорії тяжіння Ейнштейна. Фрідман довів, що внаслідок діяльності сил тяжіння речовина у Всесвіті не може бути у стані спокою: Всесвіт увесь час то розширюється, то стискається.

Найсерйознішого удару непорушності Всесвіту було завдано не теорією еволюції зірок, а результатами вимірів швидкостей віддалення галактик, отриманими видатним американським астрономом Едвіном Хабблом (Габблом) (1889—1953). Його дисертація (1913) на ступінь доктора філософії являла собою статистичне дослідження слабких спіральних туманностей в декількох ділянках неба і не була оригінальною. Але вже тоді Хаббл поділяв думку про те, що спіралі — це зоряні системи на відстанях, які часто вимірюються мільйонами світлових років.

У цей час в обсерваторії Маунт-Вілсон (США) став до ладу найбільший у світі телескоп — 250-сантиметровий рефлектор, за допомогою якого Хаббл почав вивчати туманності, зосередившись спочатку на об'єктах, які можна побачити у смузі Чумацького Шляху. У хрестоматії «Книга першоджерел з астрономії й астрофізики, 1900—1975» К. Ланга й О. Гінгерича (США), куди

занесені найвидатніші дослідження за три чверті ХХ століття, поміщені три роботи Хаббла, і перша з них — робота із класифікації позагалактичних туманностей. Дві інші освітлюють природу цих туманностей і відкриття закону червоного зсуву.

У 1923 році Хаббл взявся за спостереження туманності в сузір'ї Андромеди і зробив висновок, що велика туманність Андромеди справді є іншою зоряною системою. Такі самі результати Хаббл одержав і для туманності МОС 6822 і туманності в Трикутнику. Відомий астроном Д. Стеббінс писав, що



Едвін Хаббл



5-метровий телескоп імені А. Хейла «Велике око» обсерваторії Маунт-Паломар

Хаббл «у сто разів розширив обсяг матеріального світу й розв'язав тривалу суперечку про природу спіралей, довівши, що це гігантські сукупності зірок, майже порівнянні за розмірами з нашою власною Галактикою». Тепер Всесвіт став перед астрономами простором, заповненим зоряними островами — галактиками.

Уже одне встановлення справжньої природи туманностей визначило місце Хаббла в історії астрономії. Але на його долю випало й ще більш видатне досягнення — відкриття закону червоного зсуву. У січні 1929 року Хаббл подав до Національної академії наук США невеличку замітку під назвою «Про зв'язок між відстанню й променевою швидкістю позагалактичних туманностей». У той час Хаббл уже мав можливість зіставити швидкість руху галактики з відстанню до неї для 36 об'єктів. З'ясувалося, що ці дві величини пов'язує умова прямої пропорційності: швидкість дорівнює відстані, помноженій на постійну Хаббла. Це є закон Хаббла. На той час швидкість дорівнювала $500 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпс})$. Однак

Для виміру відстаней всередині Сонячної системи використовують астрономічну одиницю (а. о.), яка дорівнює 149 600 000 км, тобто відстані від Землі до Сонця. Однак ця одиниця замала для виміру відстаней до інших галактик. Для цього використовується одиниця довжини парсек (пс). Один парсек = 206265 а. о. = 3,26 світлового року. Один світловий рік (с. р.) — відстань, яку проходить світло, що рухається зі швидкістю 300 000 км/с, за один рік. Ще більші відстані вимірюють кілопарсеками (1 кпс=100 парсеків) і мегапарсеками (1 Мпс=1 000 000 парсеків). Діаметр нашої Галактики становить 25 кпс, а відстань до скупчення галактик у сузір'ї Волопаса — «всього» 650 Мпс.

ла 500 км/(с·Мпс), сучасні значення коливаються в межах від 40 км/(с·Мпс) майже до 110 км/(с·Мпс), але загальноприйнятою нині вважається величина $H_0 = 55$ км/(с·Мпс). Це означає, що галактика, віддалена від нас на один мегапарсек ($D = 1$ Мпс), рухається від нас зі швидкістю $V = 55$ км/с, а галактика, відстань від якої вдесятеро більша ($D = 10$ Мпс), віддаляється зі швидкістю вдесятеро більшою, тобто $V = 550$ км/с і т. д.

Фактично Хаббл на практиці довів ідею Фрідмана, що Всесвіт розширюється. Закон Хаббла практично відразу ж був визнаний у науковому світі. Значення відкриття Хаббла високо оцінив Ейнштейн. Відкриття Хаббла остаточно зруйнувало уявлення про ста-

татичний, непорушний Всесвіт, що існувало від часів Арістотеля. Нині закон Хаббла використовують для визначення відстаней до далеких галактик і квазарів.

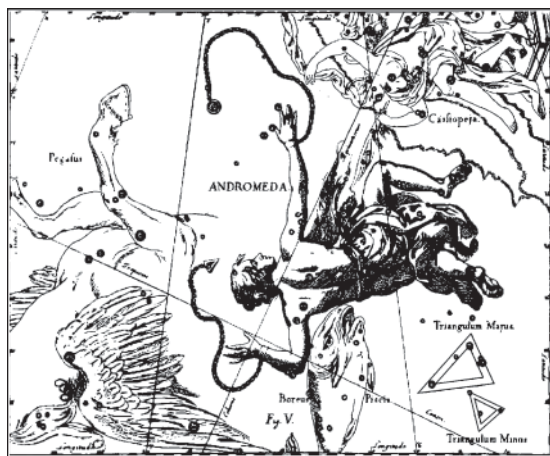
Виміряти величину постійної Хаббла доволі важко, причому різні способи вимірювання дають різні результати. За часів Хаббла ця величина дорівнюва-

ла 500 км/(с·Мпс), сучасні значення коливаються в межах від 40 км/(с·Мпс) майже до 110 км/(с·Мпс), але загальноприйнятою нині вважається величина $H_0 = 55$ км/(с·Мпс). Це означає, що галактика, віддалена від нас на один мегапарсек ($D = 1$ Мпс), рухається від нас зі швидкістю $V = 55$ км/с, а галактика, відстань від якої вдесятеро більша ($D = 10$ Мпс), віддаляється зі швидкістю вдесятеро більшою, тобто $V = 550$ км/с і т. д.

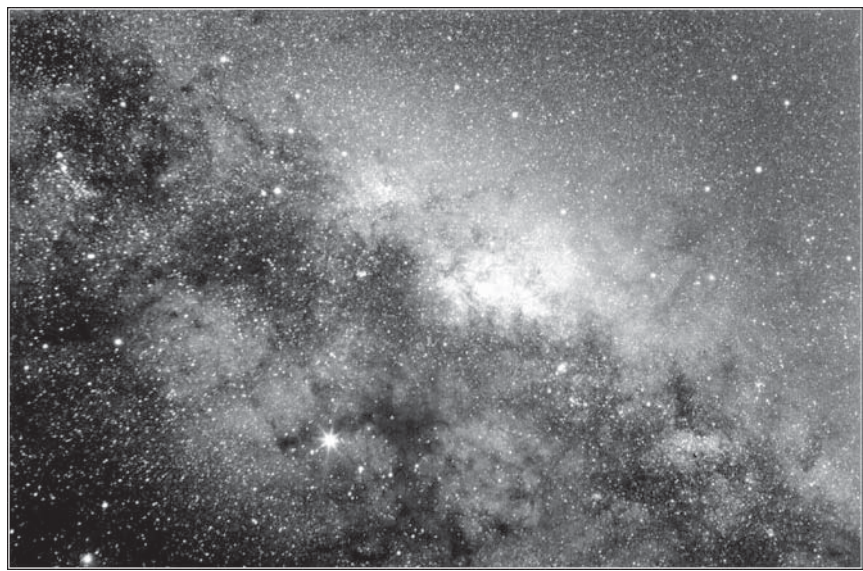
Фактично Хаббл на практиці довів ідею Фрідмана, що Всесвіт розширюється. Закон Хаббла практично відразу ж був визнаний у науковому світі. Значення відкриття Хаббла високо оцінив Ейнштейн. Відкриття Хаббла остаточно зруйнувало уявлення про ста-

тичний, непорушний Всесвіт, що існувало від часів Арістотеля. Нині закон Хаббла використовують для визначення відстаней до далеких галактик і квазарів.

Яка ж структура Всесвіту? Передусім він складається з галактик — скупчень великих і малих зоряних систем (це зірка і її навколишні планети). Ніхто не знає,



Сузір'я Андромеди на давній карті зоряного неба

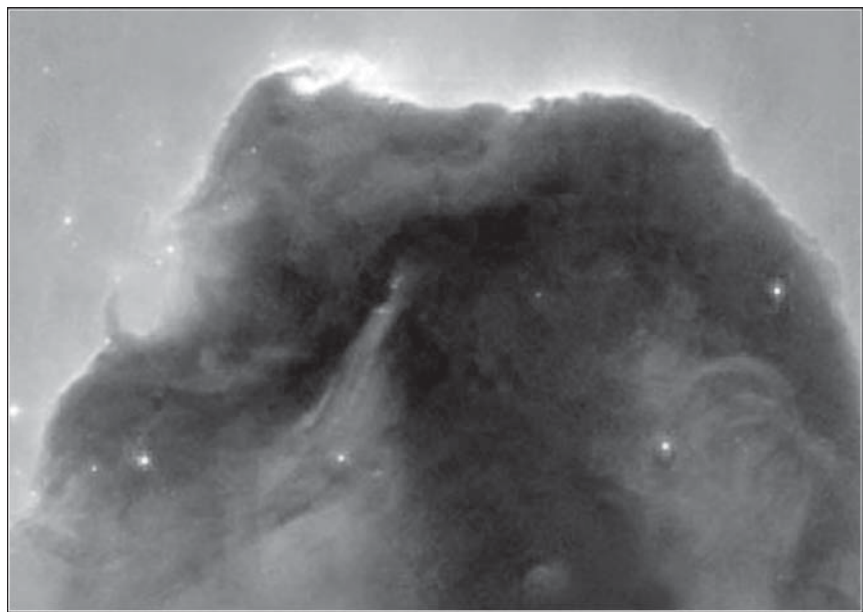


Фрагмент Чумацького Шляху на небі Землі

скільки галактик у Всесвіті, бо багатьох із них ми не бачимо — навіть у наймогутніші телескопи. У свою чергу, кожна галактика складається з величезної кількості зоряних систем. Наприклад, загальна кількість зірок нашої Галактики становить близько 200 мільярдів. Більшість зірок накопичується в центральному диску галактики, а вдалині від нього щільність зоряного «населення» набагато менша. Сонце нічим серед інших зірок не вирізняється, якщо не враховувати, що на третій планеті в його планетній системі є життя — наша цивілізація. Зірки — це розпечені газові кулі, що випромінюють світло й тепло. Їхній світ дуже різноманітний. Вони розрізняються за розмірами і масою. Є дуже гарячі зірки, температура їхньої поверхні сягає кількох десятків тисяч градусів. На небі вони виглядають блакитнуватими. Такі, як наше Сонце, — жовті, мають температуру близько шести тисяч градусів; у

Великий вчений і поет М. В. Ломоносов в одній зі своїх од так писав про небо: «Відкрилася безодня, сповнена зірок. Зіркам немає ліку, безодні — дна». Враження про незліченність зірок, які видно неозброєним оком, помилкове. Навіть у найяснішу безмісячну ніч за містом, де не заважає міське світло, неозброєним оком на небі можна побачити лише близько 3000 зірок.

холодних — червоних зірок — поверхневі шари нагріті приблизно до 2,5—3,5 тисяч градусів. Але в центрі кожної зірки температура сягає понад десять мільйонів градусів. Там відбувається горіння речовини, пе-



Одна з найзагадковіших туманностей — Кінська Голова

ретворення одних хімічних елементів на інші. При цьому виділяється величезна енергія. Такі перетворення називають термоядерними хімічними реакціями. Завдяки цьому явищу зірки світяться і випромінюють тепло.

Після відкриттів Хаббла вчені взялися за класифікацію галактик. Історія «відкриття» світу галактик досить повчальна. Понад двісті років тому Гершель побудував першу модель Галактики, зменшивши її розміри в п'ятнадцять разів. Вивчаючи численні туманності, розмаїтість форм яких він перший і виявив, Гершель дійшов висновку, що деякі з них є далекими зоряними системами «типу нашої зоряної системи». Він писав: «Я не вважаю за необхідне повторювати, що небеса складаються з ділянок, у яких сонця зібрані в системи». І ще: «...ці туманності також можуть бути названі чумацькими шляхами — з малої букви, на відміну від нашої системи».

Однак зрештою сам Гершель зайняв відносно природи туманностей іншу позицію. І це не було випадковістю. Адже вчений довів, що більшість відкритих туманностей, які він спостерігав, складаються не із зірок, а з газу. Він дійшов досить песимістичного висновку: «Усе, що за межами нашої власної системи, вкрито мороком невідомості». До того ж іще тривалий час астрономи не вміли визначати відстані до цих зоряних систем. Так, із проведених в 1907 році вимірювань нібито впливало, що відстань до

туманності Андромеди не перевищує 19 світлових років. Через чотири роки астрономи дійшли висновку, що ця відстань становить близько 1600 світлових років. І в тому, і в іншому випадку створювалося враження, що туманність Андромеди і справді перебуває в нашій Галактиці.

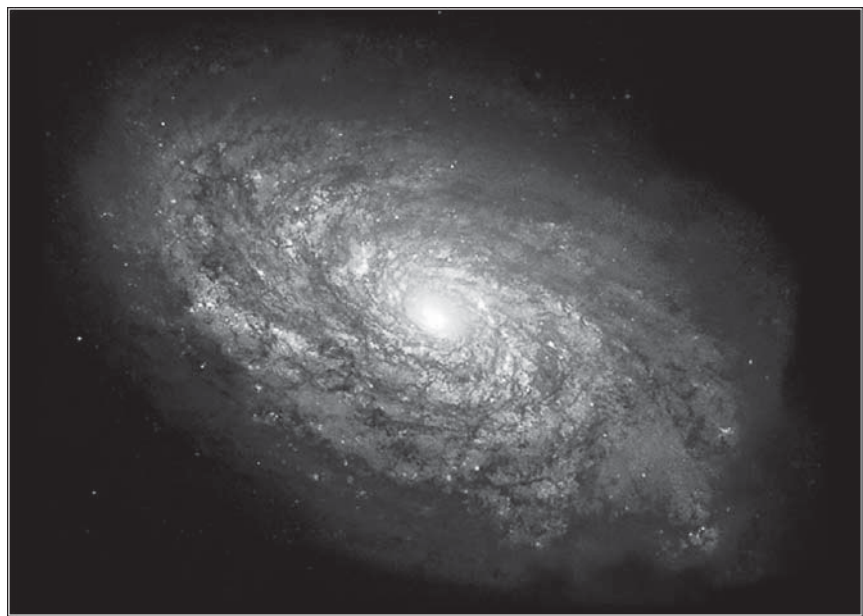
Ця неясність дуже дратувала вчених. Славетна туманність Андромеди (M31), яку видно неозброєним оком усього лише як зірку четвертої величини, розверталася у величну спіраль, якщо розглядати її у великий телескоп. У деяких із цих туманностей були зареєстровані спалахи нових зірок. Астроном Кертіс припустив, що в максимумі блиску згадані зірки випромінюють стільки ж енергії, що й нові зірки нашої Галактики. Так, він довів, що відстань до туманності Андромеди становить 500 000 світлових років. Це й дало йому підставу стверджувати, що спіральні туманності — це далекі зоряні всесвіти, подібні до Чумацького Шляху. З таким висновком не погоджувався інший астроном Шеплі, і його міркування також були цілком логічними.

Згідно з Шеплі, весь Всесвіт складається з однієї нашої Галактики, а спіральні туманності типу M31 являють собою більш дрібні об'єкти, розсіпані всередині цієї Галактики, наче мак.

Припустімо, казав він, що туманність Андромеди має такі ж розміри, як і наша Галактика (300 000 с. р. за його оцінкою). Тоді відстань до цієї туманності становить 10 мільйонів світлових років! Але тоді незрозуміло, чому в туманності Андромеди нові зірки більш яскраві, ніж у нашій Галактиці. Якщо ж яскравість нових зірок у цій туманності і в нашій Галактиці однакова, то звідси виходить, що туманність Андромеди у 20 разів менша за нашу Галактику.

Маяками Всесвіту називають цефеїди — зірки, що дійсно фізично міняють свою світність. Паралельно зі зміною блиску певною мірою змінюється їхній колір і температура, а іноді й розміри. Цефеїдами їх називають за типовою представницею цього класу зірок — зіркою дельта (сигма) в сузір'ї Цефея. З періодом в 5 діб 8 годин 48,5 хвилини її блиск безупинно міняється в межах 3/4 зоряної величини. Він зростає швидше, ніж убуває. У мінімумі блиску зірка червоніша й на 800 °С холодніша, ніж у максимумі. З'ясувалося, що цефеїди — це пульсуючі зірки. Пульсує, розширюючись і стискуючись, все тіло зірки. При її стиску відбувається нагрівання, а при розширенні — охолодження. Зміна розміру й температури поверхні зірки й викликає коливання її випромінювання. У цефеїд є чудова властивість: це зірки-гіганти й надгіганти, які видно з величезних відстаней. Із глибин світобудови вони світять, як маяки для кораблів у морі, і тому їх називають маяками Всесвіту.

Але обидва астрономи помилялися: один у розмірі туманності, другий — у відстані до



Спіральна галактика NGC 4414

неї. Природу спіральних туманностей остаточно встановив Едвін Хаббл, який наприкінці 1923 року виявив у туманності Андромеди першу, а незабаром ще кілька цефеїд. Оцінивши їхні видимі величини й періоди, Хаббл вирахував відстань до цієї туманності: 900 000 світлових років. Так остаточно була встановлена належність спіральних туманностей до світу зоряних систем типу нашої Галактики. Особливо схожа на неї туманність Андромеди.

Світ галактик виявився напрочуд велетенським. Але ще більший подив викликає різноманіття його форм. Першу й досить удалу класифікацію галактик за їхнім зовнішнім виглядом почав уже Хаббл в 1925 році. Він запропонував відносити галактики до одного з таких трьох типів:

- еліптичні (позначувані буквою E);
- спіральні (S);
- неправильні (Ir);

Також він виділив лінзоподібні галактики що є проміжним типом між спіральними та еліптичними (SO).

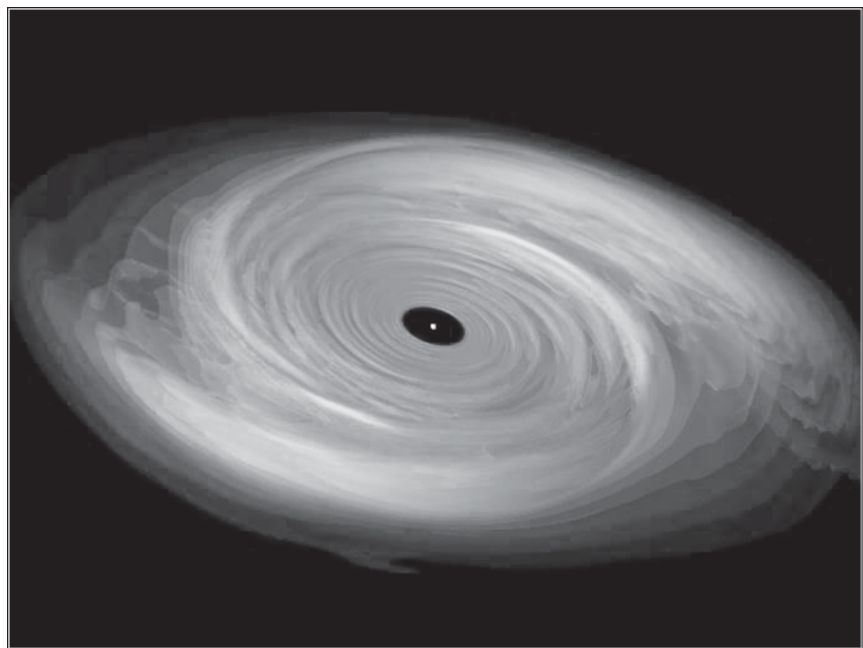
До еліптичних Хаббл відніс ті галактики, які мають вигляд правильних кіл або еліпсів і яскравість яких поступово зменшується від центра до периферії. Спіральні галактики, як і еліптичні, підрозділяються на підкласи. У сузір'ї Андромеди є велика

туманність. Восени її неважко знайти на небі за допомогою зоряної карти. Фотографії показують, що це спіральна зоряна система. Світло від неї йде до нас близько 1,5 млн. років. Серед кількох тисяч найяскравіших галактик налічується 17 % еліптичних, 80 % спіральних і близько 3 % неправильних.

До неправильних галактик віднесені об'єкти, у яких відсутнє чітко виражене ядро й не виявлена обертальна симетрія. Їхніми типовими представниками є Магелланові Хмари, які можна побачити в південній півкулі неба як дві великі світлі плями. Вони названі Магеллановими на честь великого мореплавця Магеллана. Велика й Мала Магелланові Хмари є супутниками нашої Галактики й розташовані від неї на відстані близько 120 тисяч світлових років. За розмірами вони значно менші нашої Галактики, але все-таки є досить великими зоряними системами. Подібно до нашої Галактики, вони складаються із зірок усіляких типів і з газових і пилових туманностей. У них є розсіяні й кульові зоряні скупчення. У Великій Магеллановій Хмарі існує гігантська газова туманність Золотої Риби, ще її називають Тарантул. У її центрі сконцентровано скупчення гарячих зірок дуже високої світності. Ця область нагадує ядра галактик, бо в ній йде активний процес утворення зірок великих мас. Велика і Мала Магелланові Хмари пов'язані одна з одною, а також з нашою спіральною Галактикою газовою перемичкою.



Велика Магелланова Хмара



Ніщо, навіть світло, не може покинути межі чорної діри

Класифікація галактик Хаббла служить науці і досі, і всі наступні модифікації істотно її не торкнулися. У 1957 році радянський астроном Б. А. Воронцов-Вельямінов відкрив існування «взаємодіючих галактик» — галактик, пов'язаних «перемичками», «хвостами», а також «гамма-форм», тобто галактик, у яких одна спіраль «закручується», тоді як інша «розкручується». Пізніше були відкриті компактні галактики, розміри яких становлять лише 3000 світлових років, а ще ізольовані в просторі зоряні системи з поперечником 200 світлових років. Новий загальний каталог (НЗК) містить перелік майже десяти тисяч галактик разом з їхніми найважливішими характеристиками (світність, форма, віддаленість і т. д.) — і це тільки частина з десяти мільярдів галактик, що їх можна побачити із Землі.

До найвеличніших відкриттів ХХ століття слід віднести таємничі чорні дірки — місце, де руйнується простір і час. Саме в чорних дірках зосереджена 0,1% маси нашої Галактики. Вчені встановили, що вони породжені тяжінням, що досягло колосальних величин. Внаслідок цього у просторі виникають області такої щільності, що навіть світло не може подолати їхнього гравітаційного притягання. Речовина, що її «заковтує» чорна діра, розжарюється й, поринаючи в «безодню», починає випромінювати дуже високу енергію. До складу цього випромінювання входить і рентгенівське, яке

Цікаво, що чорна дірка спочатку з'явилася на папері, коли у XVIII столітті вчені Мітчелл і Лаплас звернули увагу на те, що в ньютонівській теорії вона передбачена. Математичне вирішення цієї проблеми з'явилося пізніше. На початку XIX століття П'єр Лаплас уперше заговорив про теоретичну можливість існування чорних дірок. У знаменитому «Курсі теоретичної фізики» Лев Ландау і Євгеній Ліфшиц назвали цю загадку Всесвіту найкрасивішою із усіх існуючих теорій, а Макс Борн захоплювався нею, «як витвором мистецтва». Але найбільш поетично висловився американський фізик К. Торн: «Із усіх вигадок людського розуму, від єдинорогів і химер до водневої бомби, найфантастичнішою є образ чорної дірки, межу якої ніщо не може перетнути, і навіть світло затримує вона своєю мертвою хваткою».

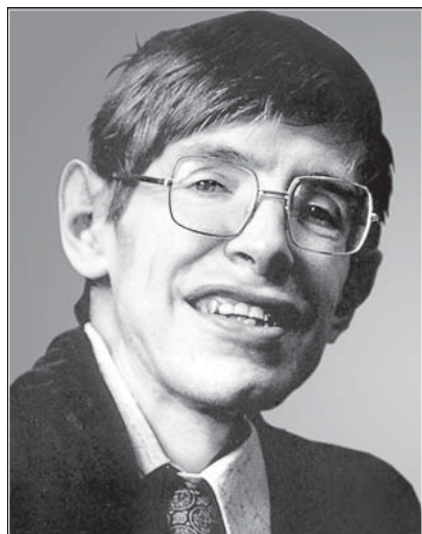
Фактично ми маємо справу із гравітаційною пасткою, звідки немає виходу. При цьому в цієї безодні відсутня поверхня, яку можна спостерігати, проте сама вона є невичерпним джерелом накопиченої енергії.

На сьогодні фахівцями зафіксоване місце розташування близько 20 масивних і близько 200 надмасивних чорних дірок. Крім того, було встановлено ще близько 220 місць, у яких, можливо, перебувають ці об'єкти. Надмасивні чорні дірки випромінюють у Всесвіт набагато більше енергії, ніж всі зірки разом узяті. Дослідники вважають, що принаймні 15 % усіх надмасивних чорних дірок виникло, коли вік Всесвіту був наполовину меншим. Загадкові «невидимки» випромінюють 30 % енергії, за рахунок якої відбувається будівництво Всесвіту. А от звідки беруться ще 70 %, поки ще невідомо. І вчені шукають цю частину «темної енергії» Всесвіту.

По суті, чорна дірка є ще невивченим елементом нашого Всесвіту, своєрідною «білою плямою». Оскільки це явище у Всесвіті досить поширене, в останнє десятиліття XX століття виник новий перспективний науковий напрямок — демографія чорних дірок. Особливу увагу вивченню чорних дір приділяє Стівен Хокінг (Гокінг), якого називають «найзагадковішим ученим сучасності». Він, до речі, очолює в Кембриджі ту кафедру, що колись нею керував Ісаак Ньютон. Цей блискучий британський фізик, що має 12 учених

виявляють телескопи і на навколоземній орбіті. Відомо, що чорна дірка «поглинає» не тільки всі фізичні предмети, які перебувають поблизу, але й світло. Через це вона невидима; виявити її в космічному просторі можна, лише ґрунтуючись на непрямих ознаках.

Природно, що natura не могла пройти повз такі об'єкти, які виникають після смерті великих зірок, адже чорні дірки мають цілу низку зовсім фантастичних властивостей.



Стівен Хокінг

ступенів, лауреат Нобелівської премії (1998) і кавалер Ордена пошани, член Королівського наукового товариства Великої Британії й Національної Академії наук США вже майже чверть століття хворий на рідкісну форму атрофічного склерозу, що зробив його калікою. Пересувається Хокінг тільки завдяки інвалідній колясці з електромотором, лекції в університеті читає за допомогою електронного синтезатора голосу. Контакт ученого із зовнішнім середовищем забезпечує унікальний комп'ютер, яким ця людина-унікум управляє єдиним діючим пальцем лівої руки.

На підставі багаторічної роботи Хокінг зробив висновок: квантовий випар чорних дірок неминучий. А це означає, що ці об'єкти вмирають. Цікавою є спроба вченого співвіднести розміри й масу дивних «білих плям» світобудови. Зокрема, розрахунки британського вченого показують: чорна дірка вагою в 1 мільярд тонн (маса гори) мала б розмір... нейтрона або протона. До речі, професор переконаний, що час формування загадкових «невидимок» перевершує час життя самого Всесвіту! Щоправда, квантової теорії чорних дірок поки що не існує, а це значить, що процеси, на які вказав Стівен Хокінг, на сьогодні зрозуміти повною мірою неможливо.

Для пильної уваги фахівців до проблеми існування «невидимок» є досить вагомі причини. Відносно недавно американський телескоп «Хаббл» зафіксував цікавий, але не дуже приємний факт: чорна дірка GRO J1655-40 із сузір'я Скорпіона рухається прямо до нашого Сонця. Невідомий монстр перебуває, безумовно, далеенько від нас (на відстані в 6000 с. р.), однак привід для занепокоєння є. Швидкість цього об'єкта викликає повагу: вона становить 40 000 кілометрів на годину! На своєму шляху дірка «з'їдає» зірки.

Улітку 2004 року Стівен Хокінг заявив, що повністю розкрив головну загадку космосу — таємницю чорних дірок. Для цього астрофізик об'єднав теорію відносності й квантову механіку в єдину теорію. Хокінг твердить, що чорні дірки аж ніяк не є величезними «братськими могилами» зірок, якоюсь «всепоглинаючою» субстанцією. Однак це відкриття назвали парадоксом: британ-

Загадкові чорні дірки, вміють... «співати»!
Так-так, від них йдуть звукові хвилі.
Наприклад, подібний об'єкт із сузір'я Персея (близько 250 млн с. р. від Землі) постійно «муркоче» ноту, що відповідає сі-бемоль, причому на 57 октав нижчу першої октави. Вчені вважають: це свідчить про те, що пилова хмара, яка оточує чорну дірку, розжарюється.

ніякої інформації. А це суперечить усім законам квантової механіки. Розв'язати цей парадокс Хокінг намагався протягом тридцяти років. Тепер професор думає, що загадкові дірки все-таки дозволяють інформації виходити назовні, і в такому разі, падіння в чорну дірку — «це не є мандрівкою із квитком в один кінець». Щоправда, його заява: «Якщо ви потрапите в чорну дірку, ваша маса-енергія повернеться в наш Всесвіт, але в понівеченому вигляді» — відразу ж розчарувала любителів наукової фантастики. Чорні дірки — не просто екзотичні об'єкти Всесвіту, вони змушують замислитися над тим, що чимало особливостей природи наука досі ще не пізнала.

Найважливішим атрибутом еволюції Всесвіту є його розширення. Перші праці в цій галузі належать талановитому радянському математикові Олександровичу Фрідману (1888—1925). Він широко відомий як геофізик-метеоролог, фахівець із прикладних питань динаміки атмосфери. Але багато часу Фрідман віддав математичному аналізу розв'язань космологічних рівнянь Ейнштейна. Працям російського вченого спочатку не надали належного значення. Їх оцінили лише у зв'язку з відкриттям Хабблом червоного зсуву й розвитком сучасних уявлень про гарячий Всесвіт і Великий Вибух.

У 1927 році Ж. Леметр, студент із Еддінгтона, незалежно від Фрідмана висунув ідею виникнення Всесвіту і його подальшого розширення із точки, якій на певний час дали назву «атома-батька». Сам Леметр ка-

ський професор твердив, що енергія, яка надходить із чорної дірки, не містить ніякої «інформації» про поглинену матерію. Тож після випару «невидимки» від неї не залишиться й сліду, отже, не залишиться й



Ж. Леметр



Джордж Гамов

тегорично був проти подібного образу й взагалі теологічного трактування своєї теорії. Процес виникнення Всесвіту Леметр уявив у формі Великого Вибуху. Молодий учений першим спробував знайти і ймовірні сліди початкового Вибуху. Він припускав, що таким відгомонам могли бути космічні промені. У 1933 році Леметр висунув новий варіант концепції розширення Всесвіту — із щільного згустку матерії скінченних, але дуже малих розмірів.

Задачу формування більш конкретної, фізично розробленої еволюційної космологіко-космогонічної моделі Всесвіту,

що розширюється, в основному розв'язав американський фізик Джордж Гамов, росіянин за походженням (Георгій Антонович Гаморів, 1904—1968). У 1946 році він першим запропонував теорію, що дістала згодом назву «теорії Великого Вибуху» (а точніше — «Великого Удару»). Відповідно до неї, весь сучасний спостережуваний Всесвіт являє собою результат катастрофічно швидкого «розльоту» матерії, яка перебувала до того в надщільному стані, недосяжному для опису в межах сучасної фізики.

Але майже два десятиліття концепція Великого Вибуху для більшості астрономів залишалася «грою розуму» деяких фізиків і космологів. Істотну негативну роль тут відіграла і диференційованість науки, через яку фахівці, що працюють навіть у близьких галузях, часом мало знають про проблеми своїх «сусідів».

Спочатку наслідком концепції гарячого Всесвіту був висновок, що в спадщину від цієї епохи, якщо тільки вона дійсно мала місце, повсюди у Всесвіті має зберегтися залишкове, або, як його називають, реліктове, випромінювання в радіодіапазоні. Канадський астрофізик Е. Мак-Келлар у 1941 році зіштовхнувся з незвичайним явищем — збудженим станом молекул міжзоряного ціану. Подібний факт міг стати основою для висновку про наявність у світовому просторі відповідного випромінювання-збудника. Однак, схоже, автори теорії Великого Вибуху нічого не знали про це відкриття. Тільки значно пізніше те, що цей стан молекул ціану викликаний саме реліктовим випромінюванням, довели радянський астрофізик І. С. Шкловський і незалежно від нього ряд інших авторів.

Досить цікавою є історія відкриття пульсарів — джерел електромагнітного випромінювання. Перші пульсари були відкриті аспіранткою Кембриджського університету Джослін Белл наприкінці 60-х років минулого століття. Вона досліджувала мерехтливі радіоджерела на хвилі 75 сантиметрів і виявила швидкозмінне джерело — «перешкоду», що спостерігається пізньої ночі, коли такого мерехтіння не повинно бути. Точність повторення імпульсів була феноменальною. Тому спочатку астрономи гадали, що відкрили сигнали позаземної цивілізації, і відкриття тримали в строгому секреті. Пізніше ці джерела назвали пульсарами за характером їхнього випромінювання. За це відкриття астрономи одержали Нобелівську премію. Тоді ж було визначено, що пульсари — це нейтронні зірки, які утворилися після спалахів наднових зірок. Маса такої зірки в півтора раза більша маси Сонця, а її радіус становить близько десяти кілометрів. Вона генерує вузькоспрямований потік випромінювання. Внаслідок обертання зірки це випромінювання потрапляє в поле зору зовнішнього спостерігача через рівні проміжки часу — так утворюються імпульси пульсара.

У середині шістдесятих років радіоастрономи-експериментатори мали наміри побудувати спеціальну апаратуру для виявлення реліктового випромінювання. Але їх випередили інженери, що виконували дослідження з боротьби з радіошумами при зв'язку зі штучними супутниками Землі.

У 1965 році радіоінженери А. Пензіас і Р. Вільсон (США) при випробуванні рупорної антени для спостереження за американським супутником «Місяць» випадково відкрили існування мікрохвильового (на хвилі 7,35 см) космічного радіошуму, що не залежить від напрямку антени. Протягом 1966—1967 років це відкриття — відкриття реліктового радіовипромінювання Всесвіту — було незалежно один від одного підтверджено кількома дослідниками в різних країнах. Особливості цього явища збіглися із передбачуваними в теорії Великого Вибуху.

Відкриття реліктового випромінювання стало найбільшим досягненням в астрономії XX століття і значною мірою було ре-

Подальші розрахунки теорії Великого Вибуху довели, що її можливо перевірити за допомогою спостережень. Набагато пізніше з'ясувалося, що визначене розрахунками реліктове випромінювання вже було відкрито в СРСР і в Японії. У СРСР це відкриття було опубліковано аспірантом Пулковської обсерваторії Т. О. Шмаоновим в 1957 році. Але біда була в тому, що спостерігачі й теоретики працювали незалежно один від одного. Між ними не існувало обміну інформацією. Спостерігач не знав, як правильно витлумачити свої дивовижні результати. Чудова ж стаття теоретиків залишилася непоміченою.

зультатом розвитку радіоастрономічної техніки й того, що сама наукова атмосфера змогла його сприйняти. Це відкриття зробило безсумнівним факт, що Всесвіт (Метагалактика) дійсно еволюціонує. Нарешті відкриття реліктового випромінювання стало потужним стимулом для подальшої розробки ідеї Великого Вибуху.

Новим етапом розвитку ідей про ранні стадії еволюції Всесвіту стала «теорія гарячого Всесвіту». Їй присвячені роботи академіка Я. Б. Зельдовича (1914—1987) та його школи. Уявлення про характер початкового розширення Всесвіту в наші дні дуже змінилися. Крім головних труднощів в описанні такого «початку» (його недосяжності для сучасної теоретичної фізики), виникли інші серйозні труднощі при спробі описати й наступну, уже в принципі доступну для сучасної фізики, але ще дуже ранню історію розширення Всесвіту як цілого.

З метою подолання цих труднощів у 80-ті роки минулого століття була запропонована концепція щодо інфляційного Всесвіту (А. Гут, США; А. Д. Лінді, СРСР), тобто ідея множинності й кількарязового виникнення в різні моменти часу самих всесвітів, що роздуваються. Вчені вважають, що Всесвіт виник мільярди років тому, коли вибухнула величезна маса космічної речовини. Внаслідок цього утворилися всі небесні об'єкти — галактики, зоряні системи, планети і більш дрібні космічні тіла, що дотепер продовжують розлітатися від епіцентра вибуху в різні боки; тому Всесвіт постійно розширюється. Таким чином, найдавніша ідея відродження Всесвіту, ідея нескінченного ланцюга народжень і загибелі світів усіх масштабів, як і концепція острівних всесвітів, що з'явилася вже в результаті поєднання гравітаційної теорії й спостережень, у наші дні відродилася, але вже на незрівнянно вищому рівні. Ці ідеї можна розглядати як провісники, а може, як початок уже третьої революції в космологічній картині світу.

Освоєння космічних глибин

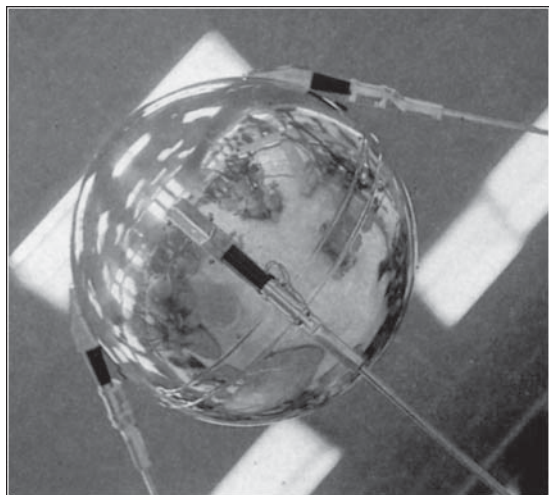
До астрономії щільно прилягає досить нова комплексна галузь науки і техніки — космонавтика. Вона, використовуючи накопичені астрономічні знання, забезпечує дослідницьку роботу в космічному просторі за допомогою автоматичних і пілотованих космічних літальних апаратів.

Космічна ера почалася 4 жовтня 1957 року, коли в СРСР запустили з космодрому Байконур перший у світі штучний супутник Землі. Він дав змогу уперше виміряти щільність верхньої атмосфери, одержати дані про поширення радіосигналів в іоносфері, опрацювати проблему виведення на орбіту літального апарату, тепловий режим та ін. Супутник являв собою алюмінієву сферу

діаметром 58 см і масою 83,6 кг із чотирма штировими антенами довжиною 2,4—2,9 метра. У герметичному корпусі супутника розміщалися апаратура й джерела електроживлення. Третього листопада того ж року Радянський Союз повідомив про виведення на орбіту другого радянського супутника. В окремій герметичній кабіні перебували собака Лайка й телеметрична система для реєстрації її поведінки в стані невагомості. Супутник був також устаткований науковими приладами для дослідження випромінювання Сонця й космічних променів.

Шостого грудня 1957 року у США була зроблена спроба запустити супутник «Авангард-1» за допомогою ракети-носія, розробленого Дослідницькою лабораторією ВМФ. Після запалювання ракети піднялася над пусковим столом, однак через секунду двигуни виключилися, й ракета впала на стіл, вибухнувши від удару. Тридцять першого січня 1958 року був виведений на орбіту супутник «Експлорер-1» — американська відповідь на запуск радянських супутників. За розмірами і масою він не був кандидатом у рекордсмени: завдовжки один метр, діаметром тільки 15,2 см і масою всього лише 4,8 кілограма. Однак його корисний вантаж був приєднаний до четвертого, останнього ступеня ракети-носія «Юнона-1». Супутник разом з ракетою на орбіті мав довжину 205 см і масу 14 кілограмів. На ньому були встановлені датчики зовнішньої й внутрішньої температур, датчики ерозії ударів для визначення потоків мікрометеоритів і лічильник Гейгера—Мюллера для реєстрації проникаючих космічних променів. Важливий науковий результат польоту супутника полягав у відкритті довкола Землі радіаційних поясів. У період із грудня 1957 року по вересень 1959 року було одинадцять спроб вивести на орбіту «Авангард-1», і тільки три з них були успішними. Обидва супутники внесли багато нового в космічну науку й техніку (сонячні батареї, нові дані про щільність верхньої атмосфери, точна карта островів у Тихому океані і т. д.).

Сімнадцятого серпня 1958 року у США зробили першу



Перший штучний супутник Землі



Юрій Олексійович Гагарін

Перший космонавт Ю. О. Гагарін народився у 1934 році в селянській родині, а згодом жив у містечку Гжатськ, яке нині має ім'я Гагаріна. Школа, ремісницьке училище, ливарний цех, індустріальний технікум, Саратовський аероклуб — така біографія Юрія Олексійовича до вступу в Оренбурзьке льотне училище. У 1950 році він почав підготовку до польоту в космос. На весь світ 12 квітня 1961 року прозвучало знамените: «Поїхали!» Цей день вважається Днем космонавтики. Ім'я Гагаріна відомо кожній людині нашої планети, як і його прекрасна усмішка. Життя першого космонавта трагічно обірвалося в авіаційній катастрофі у березні 1968 року під час чергового тренувального польоту.

пояса. Автоматична міжпланетна станція (АМС) «Луна-3» була запуснена 4 жовтня 1959 року. Вага станції становила 435 кілограмів. Основною метою запуску був обліт Місяця й фотографуван-

спробу послати з мису Канаверал у бік Місяця зонд із науковою апаратурою. Вона була невдалою. Ракета піднялася й пролетіла всього 16 кілометрів. Одинадцятого жовтня 1958 року спроба запуску місячного зонда «Піонер-1» також була невдалою, такими ж були і кілька наступних запусків. Тому, так само як і при запуску супутника Землі, пріоритет у запуску першого зонда до Місяця належить СРСР. Це сталося 2 січня 1959 року: був запуснений перший створений руками людини об'єкт, що вийшов на траєкторію, яка проходила досить близько від Місяця. У такий спосіб зонд «Луна-1» уперше досяг другої космічної швидкості; він мав масу 361,3 кг і пролетів повз Місяць на відстані 5500 кілометрів.

На відстані 113 000 км від Землі з ракетного ступеня, пристикованого до зонда «Луна-1», була випущена хмара парів натрію, що утворила штучну комету. Сонячне випромінювання викликало яскраве світіння парів, і оптичні системи на Землі сфотографували хмару на тлі сузір'я Водолія. Зонд «Луна-2», запуснений 12 вересня 1959 року, зробив перший у світі політ на інше небесне тіло. У 390-кілограмовій сфері зонда розміщувалися прилади, які показали, що Місяць не має магнітного поля й радіаційного

ня його зворотного, невидимого із Землі, боку. Фотографування здійснювалося 7 жовтня протягом сорока хвилин і з висоти 6200 км над Місяцем.

Дванадцятого квітня 1961 року о 9 годині 07 хвилин за московським часом за кілька десятків кілометрів на північ від селища Тюратам у Казахстані на радянському космодромі Байконур відбувся запуск міжконтинентальної балістичної ракети Р-7, у носовому відсіку якої розміщався пілотований космічний корабель «Восток» з майором ВПС Юрієм Олексійовичем Гагаріним на борту. Запуск пройшов успішно. Космічний корабель був виведений на орбіту під кутом 65° , з висотою перигею 181 км і висотою апогею 327 кілометрів, він зробив один виток навколо Землі за 89 хвилин і на 108-й хвилині після запуску повернувся на Землю, приземлившись у районі села Смелівка Саратовської області. Таким чином, через чотири роки після виведення першого штучного супутника Землі Радянський Союз уперше у світі здійснив політ людини в космічний простір.

Космічний корабель Гагаріна складався із двох відсіків. Апарат, що спускається, є одночасно кабіною космонавта, являє собою сферу діаметром 2,3 м, покриту спеціальним матеріалом для теплового захисту при вході в атмосферу. Керування кораблем здійснювалося автоматично, а також космонавтом. У польоті безупинно підтримувався зв'язок із Землею. «Восток-1» мав масу 4730 кг, а з останнім ступенем ракети-носія — 6170 кілограмів. Космічний корабель «Восток» виводили в космос п'ять разів.

Через чотири тижні після польоту Гагаріна 5 травня 1961 року капітан третього рангу Алан Шепард став першим американським астронавтом. Хоча він і не досяг навколоземної орбіти, але піднявся над Землею на висоту близько 186 кілометрів. Шепард, злетівши з мису Канаверал у космічному кораблі «Меркурій-3» за допомогою модифікованої балістичної ракети «Редстоун», провів у польоті 15 хвилин і приводнився в Атлантичному океані. Він довів, що людина в умовах невагомості може здійснювати ручне керування космічним кораблем. «Меркурій» значно відрізнявся від «Востока». Він складався тільки з одного модуля — пілотованої капсули у формі зрізаного конуса. Його герметична оболонка з нікелевого сплаву мала обшивку з титану для захисту від нагрівання при вході в атмосферу.

Двадцятого лютого 1962 року США досягли навколоземної орбіти. З мису Канаверал був запущений корабель «Меркурій-6», пілотований підполковником ВМФ Джоном Гленном. Гленн пробув на орбіті 4 години 55 хвилин, тоді як на той час політ Германа Титова тривав більше доби, а перша жінка-космонавт Валентина Терешкова провела на орбіті майже три доби. Дванадцятого трав-

Першим українським космонавтом став Павло Романович Попович, який побував у космосі на кораблі «Восток-4» з 12 по 15 серпня 1962 року. У космосі він побував двічі. Через 35 років, з 19 листопада по 5 грудня 1997 року, у складі міжнародного екіпажу Шаттла «Columbia» (STS-87) здійснив політ перший космонавт незалежної України — Леонід Костянтинович Каденюк. Тривалість його польоту склала 15 діб 16 годин 34 хвилини 04 секунди. Він провів десять біологічних експериментів по штучному запиленню паростків трьох видів рослин: сої, мохів і brassica rapa. (Останню рослину американський вчений Пауль Віль'ямсон вирощував понад 20 років.) Також Каденюк вів експерименти Інституту системних досліджень за тематикою «Людина і стан невагомості».

був розгорнутий шлюзовий відсік: Леонов увійшов у шлюзовий відсік, закрив кришку люка космічного корабля і вперше у світі здійснив вихід у космічний простір. Космонавт із автономною системою життєзабезпечення перебував поза кабіною корабля протягом 20 хвилин, час від часу віддаляючись від корабля на відстань до п'яти метрів. Під час виходу він був з'єднаний із кораблем

1964 року космічний корабель «Восход» підняв у космос одразу трьох космонавтів — В. Комарова, К. Феоктистова, Б. Єгорова. А 18 березня 1965 року був виведений на орбіту «Восход-2» із двома космонавтами на борту — командиром корабля полковником Павлом Івановичем Беляєвим і другим пілотом підполковником Олексієм Архиповичем Леоновим. Після виходу на орбіту

тільки телефонним і телеметричним кабелями. Таким чином, була практично підтверджена можливість перебування й роботи космонавта поза космічним кораблем.

Третього червня того ж року був запущений «Джеміні-4» з капітанами Джеймсом Макдивіттом і Едвардом Уайтом. Під час цього польоту, що тривав 97 годин 56 хвилин, Уайт вийшов у відкри-



Вихід Олексія Леонова у відкритий космос

тий космос і провів поза кабіною корабля 21 хвилину, перевіряючи можливість маневру в космосі за допомогою ручного реактивного пістолета на стисненому газі.

На превеликий жаль, освоєння космосу не минуло без жертв. Двадцять сьомого січня 1967 року екіпаж, що готувався здійснити перший пілотований політ за програмою «Аполлон», загинув під час пожежі всередині корабля, згорівши за 15 хвилин в атмосфері чистого кисню. Вірджіл Гріссом, Едвард Уайт і Роджер Чаффі стали першими американськими астронавтами, що загинули в кораблі.

Двадцять третього квітня 1967 року з Байконуру був запущений новий космічний корабель «Союз-1», пілотований полковником Володимиром Комаровим. Запуск пройшов успішно. На вісімнадцятому витку, через 26 годин 45 хвилин після запуску, Комаров почав операцію з орієнтації корабля для входження в атмосферу. Всі операції він виконав, але після входження в атмосферу й гальмування відмовила парашутна система. Космонавт загинув миттєво в момент удару «Союзу-1» об Землю зі швидкістю 644 км/год. У подальшому космос забрав не одне людське життя, але ці жертви були першими.

Серед космонавтів США найбільш відомі Н. Армстронг, Є. Олдрін і М. Коллінз — екіпаж космічного корабля «Аполлон-11», який у липні 1969 року здійснив політ на Місяць. Армстронг і Олдрін стали першими людьми, які побували на Місяці. Астронавти зробили багато фотознімків місячного ландшафту, включаючи скелі й рівнину, зібрали 22 кг зразків місячного ґрунту для вивчення на Землі. Армстронг провів на Місяці 2 години 31 хвилину.



Ніл Армстронг — перша людина на Місяці

Виходячи з апарата, що сів на Місяць, командир «Аполлона-11» Ніл Армстронг вимовив історичну фразу: «Це маленький крок для людини, але гігантський стрибок для людства». Коли минув напад ейфорії, з'явилися перші скептики. А через якийсь час навіть самі американці заговорили про те, що матеріали, які підтверджують факт висадження людини на Місяць, сфальсифіковані. Про це свідчили фотоматеріали, представлені Національним космічним агентством США (НАСА). На деяких знімках тіні предметів чомусь падають у зовсім різні боки (що неможливо при сонячному освітленні). Є чорні, сірі, майже прозорі тіні. Але в умовах вакууму контраст між світлом і тінню дуже різкий. До того ж на панорамному знімку місячної поверхні чітко видні джерела світла, яких на Місяці бути просто не могло. Але й це ще не все. На фотографіях з місячної поверхні чомусь не видно жодної зірки. Тільки Земля. Ще один знаменитий кадр — глибокий відбиток сліду космонавта на місячній поверхні — викликав подив у фізиків. Але все перевершив знімок американського прапора, який майорить на вітрі у безповітряному просторі! Деякі професіонали вважають, що знімки було зроблено в студійних умовах, і зробив це Стенлі Кубрик — видатний американський режисер, який саме у 1969 році отримав премію «Оскар» за кращі спецефекти у фантастичному фільмі «2001: Космічна одіссея».

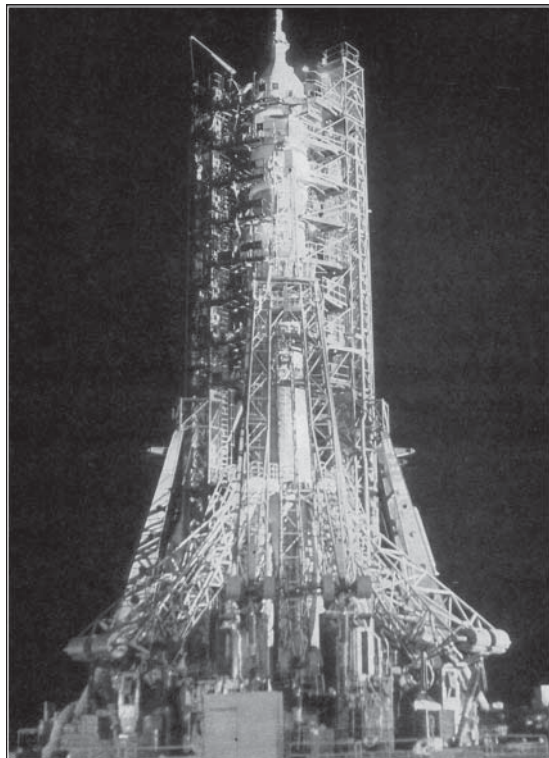
ні 1965 році запуском супутників серії «Молния». Згодом на базі цих супутників побудували першу систему далекого космічного зв'язку «Орбіта». У грудні 1975 року сім'я супутників зв'язку поповнилася супутником «Радуга», що функціонує на геостационарній орбіті. Потім з'явився супутник «Екран» з більш могутнім передавачем і простішими наземними станціями. Після перших розробок супутників настав новий період у розвитку техніки супутникового зв'язку, коли почали виводити супутники на геостационарну орбіту, по якій вони рухаються синхронно з обертанням Землі. Це дало змогу встановити цілодобовий зв'язок між наземними станціями, використовуючи супутники нового покоління:

Завдяки розвитку космонавтики з'явився супутниковий зв'язок. Орбіту, на якій повинен перебувати супутник (35880 км над Землею), щоб залишатися нерухомим відносно Землі, обчислив А. Кларк. Перша телепередача відбувалася зі супутника «Телстар-2» у 1963 році, а вже через два тижні мільйони європейців і американців спостерігали за переговорами людей, що перебувають на протилежних берегах Атлантичного океану. Вони не тільки розмовляли, але й бачили один одного, спілкуючись через супутник. Історики можуть уважати цей день датою народження космічного телебачення. Найбільша у світі державна система супутникового зв'язку створена в Росії. Її початок був покладений у квіт-

американські «Сінком», «Ерлі берд», «Інтелсат» і російські — «Радуга» і «Горизонт». Велике майбутнє пов'язують із розміщенням на геостаціонарній орбіті антенних комплексів.

Завдяки космонавтиці з'явилися нові наукові напрямки, серед яких є космічна метеорологія, яка дає спеціалістам змогу одержувати регулярну інформацію про погоду у світовому масштабі, що весь час міняється. Перша спроба в цьому напрямку була зроблена американцями, які створили сім'ю метеорологічних супутників «Тірос». Дев'ять таких супутників були виведені на орбіту в період з 1960 по 1965 рік. У Росії метеорологічним космічним апаратом став супутник «Метеор». Два або три супутники цієї серії перебувають на орбіті одночасно й збирають інформацію про стан атмосфери, про теплове випромінювання Землі та інше. Починаючи з 1966 року, Землю регулярно фотографують принаймні один раз на добу. Фотознімки використовують у повсякденній роботі. Метеорологічна інформація звідусюди надходить у Вашингтон до Національної служби контролю навколишнього середовища за допомогою супутників, переробляється в матеріали широкої номенклатури й розподіляється по всьому світу.

Супутникова інформація виявилася особливо корисною у двох сферах дослідження. По-перше, існують великі райони Землі, надходження метеорологічної інформації з яких звичайними засобами є практично неможливим. Це території океанів північної й південної півкуль, пустель і полярних районів. Супутникова інформація заповнює ці прогалини, виявляючи великомасштабні особливості з утворень хмар. По-



Ракетоносій з космічним кораблем «Союз-15» перед стартом 26 серпня 1974 року

друге, супутникова інформація успішно використовується для спостереження за ураганами, тайфунами й тропічними штормами. Супутникова інформація включає дані про наявність і розташування атмосферних фронтів, бур і загального хмарного покриву. У підсумку сьогодні супутник став визнаним інструментом метеорологів у більшості країн світу.

Вивчаючи Землю з космосу, людина вперше використала супутники для контролю за станом сільськогосподарських угідь, лісів та інших природних ресурсів Землі лише через кілька років після настання космічної ери. Початок був покладений 1960 року, коли за допомогою метеорологічних супутників «Тірос» були отримані подібні до карти обриси земної кулі, покритої хмарами. Першими ж супутниками, призначеними для максимального використання цих можливостей, були апарати типу «Лендсат». У досупутникову епоху карти багатьох областей, навіть у розвинених районах світу, були складені неточно. Зображення, отримані за допомогою супутника «Лендсат», дали змогу скоригувати й оновити деякі існуючі карти США. У СРСР зображення, отримані зі станції «Салют», виявилися незамінними для вивірки залізничної траси БАМ. Приблизно в той же час у СРСР спостереження за сільськогосподарськими культурами проводилися із супутників серій «Космос», «Метеор», «Мусон» і орбітальних станцій «Салют».

Величезне значення для людства в цілому має можливість спостерігати практично безупинно за просторами Світового Океану, цієї «кузні» погоди. Саме над товщею океанської води зароджуються урагани й тайфуни дивовижної руйнівної сили, що призводять до численних жертв й руйнації на узбережжі. Раннє оповіщення населення життєво важливе для убезпечення багатьох тисяч людей від стихійного лиха.

Супутники допомагають визначити запаси риби й інших морепродуктів. Океанські течії часто викривляються, міняють курс і розміри. Наприклад, Ель Ніньйо, тепла течія в південному напрямку в районі берегів Еквадору, в окремі роки може поширюватися уздовж берегів Перу. Коли це відбувається, планктон і риба гинуть у величезних кількостях, завдаючи величезних збитків рибним промислам багатьох країн. Спостереження із супутників допомагає виявити «примхи» таких течій і дати корисну інформацію тим, хто через них зазнає лиха.

Супутники набагато полегшили морякам роботу з прокладання курсу для морських суден. При експлуатації російського атомного криголама «Сибір» використовувалася інформація із супутників чотирьох типів для прокладання найбезпечніших і економічно вигідних шляхів у північних морях. Одержувана з навігаційного супутника «Космос-1000» інформація оброблялася в обчислювальній

машині корабля для визначення його точного місцезнаходження. Із супутників «Метеор» надходили зображення хмарного покриву й прогнози снігової й льодової обстановки, що давало змогу вибирати кращий курс. Через супутник «Молния» підтримувався зв'язок із корабля з базою. Супутники також допомагають знаходити нафтові забруднення, забруднення повітря, корисні копалини.

Поряд з великими технічними досягненнями, зумовленими розвитком космонавтики, були отримані нові знання про планету Земля й сусідні світи. Одним із перших важливих відкриттів, зроблених не традиційним візуальним, а космічним методом спостереження, було встановлення факту різкого збільшення, починаючи з певної граничної висоти, інтенсивності космічних променів, що вважалися раніше ізотропними. Це відкриття належить австрійцеві В. Ф. Хессу, який запустив у 1946 році газову кульозонд із апаратурою на великі висоти. У 1952 і 1953 роках доктор Джеймс Ван Аллен досліджував низькоенергетичні космічні промені при запусках у районі північного магнітного полюса Землі невеликих ракет на висоту 19—24 км і висотних кульових зондів. Проаналізувавши результати проведених експериментів, Ван Аллен запропонував розмістити на борту перших американських штучних супутників Землі досить прості за конструкцією детектори космічних променів. За допомогою супутника «Експлорер-1», що був виведений США на орбіту 31 січня 1958 року, виявили різке зменшення інтенсивності космічного випромінювання на висотах понад 950 кілометрів. Наприкінці 1958 року автоматична станція «Піонер-3», що за добу польоту пододала відстань понад 100 000 км, зареєструвала за допомогою датчиків другий, розташований вище першого, радіаційний пояс Землі, який також оперізує всю земну кулю. У серпні й вересні 1958 року на висоті понад 320 км було здійснено три атомних вибухи, кожний потужністю 1,5 кілотонни. Метою досліджень під кодовою назвою «Аргус» було вивчення можливості зникнення радіо- й радіолокаційного зв'язку при таких випробуваннях.

Дослідженню Сонця, що є найважливішим науковим напрямком, присвячено багато запусків перших супутників і автоматичних станцій. Американські «Піонер-4» та «Піонер-9» (1959—1968) з навколосонячних орбіт передавали по радіо на Землю найважливішу інформацію про структуру Сонця. За той час було запущено більше двадцяти супутників серії «Інтеркосмос» з метою вивчення Сонця й навколосонячного простору. Все це дало фахівцям змогу зробити багато наукових відкриттів.

На початку 60-х років минулого століття у США й СРСР була спроектована, виготовлена й запущена в напрямку Місяця ціла низка автоматичних міжпланетних станцій (АМС). Найбільш успішним

для американців був запуск у липні 1964 року апарата «Рейнджер-7», що передав на Землю більше 4300 високоякісних телевізійних зображень Місяця, отриманих перед контактом з поверхнею. Останнє зображення, зняте з висоти 1600 м, охоплювало площу 30×50 метрів. На ньому були чітко видні кратери діаметром до 1 метра.

У СРСР уперше були створені можливості для здійснення м'якої посадки на Місяць за допомогою нових АМС серії «Луна» в 1963 році. Ці станції масою до 1,8 т були розраховані на доставку контейнера з приладдям масою 100 кг на місячну поверхню. При запуску АМС «Луна-9» у лютому 1966 року була вперше успішно здійснена м'яка посадка на Місяць об'єкта, виготовленого руками людини. Другою станцією, що дісталася супутника Землі, стала «Луна-13». За допомогою механічного ґрунтоміра й радіаційного щільноміра була отримана унікальна інформація про щільність і склад ґрунту на поверхні Місяця.

При запуску АМС «Луна-17» уперше вирішувалися проблеми, пов'язані з пересуванням по місячній поверхні. Після успішної посадки з посадкового ступеня був спущений апарат «Луноход-1». За 10 місяців роботи «Луноход-1», керований із Землі по радіо, пройшов по місячній поверхні понад 10,5 кілометра.

Одне з найбільш яскравих світил нічного неба — вкрита хмарами планета Венера — стала однією з перших цілей польотів АМС. Уперше можливість запуску АМС з'явилася наприкінці 1960 року, коли в СРСР була створена перша ракета-носій А-2-є. У лютому 1961 року, скориставшись «вікном» для запусків до Венери, СРСР запустив АМС «Венера-1», що пройшла на відстані 100 000 км від Венери й вийшла на навколосонячну орбіту.

Дванадцятого листопада 1965 року була запущена з метою досягнення поверхні планети «Венера-3». Першого березня 1966 році станція досягла поверхні Венери, здійснивши перший політ АМС на іншу планету. У 1967 році успішний політ здійснила станція «Венера-4», спрямована безпосередньо на планету. На відстані 45 000 км від Венери від станції відділився сферичний спускний апарат, діаметром в один метр, що при вході в атмосферу планети витримав перевантаження до 300 g. Парашутна система надалі забезпечила спуск в атмосфері, що тривав 94 хвилини. Була отримана інформація про те, що на висоті 25 км температура атмосфери дорівнює 271 °С і тиск — 17—20 атмосфер. На поверхні планети температура становить 475 °С і тиск 15 атмосфер.

Було відкрито, що атмосфера Венери майже повністю складається з вуглекислого газу. Наостанок було проведено кілька запусків з метою занурення в атмосферу Венери.

Першою космічною станцією, запущеною до Марса 1 листопада 1962 року, була радянська АМС «Марс-1». США запустили в

1964 році перші дві АМС «Марінер». Запуск «Марінер-3» був невдалим, і через три тижні на навколосонячну орбіту була виведена АМС «Марінер-4». Чотирнадцятого липня 1965 року вона пролетіла на відстані 9 600 км від Марса, не виявивши ні радіаційних поясів, ні магнітного поля довкола планети. Було відкрито, що тиск біля поверхні планети становить менше одного відсотка земного тиску над рівнем моря й відповідає тиску в атмосфері Землі на висоті 30—35 кілометрів. На поверхні Марса були відкриті кратери, аналогічні місячним.

Першою радянською АМС, що здійснила посадку на Марс, була «Марс-2», вона мала вагу 4650 кілограмів. У складі марсіанського ґрунту було виявлено: 15—20 % кремнію, 14 % заліза, а також кальцій, алюміній, сірку, титан, магній, цезій і калій. У складі повітря було виявлено 95 % вуглекислого газу, 2,7 % азоту й ознаки наявності кисню, аргону й водяної пари.

До Меркурія вперше вирушила АМС «Марінер-10». Двадцять дев'ятого березня 1973 року космічний апарат досяг планети, пройшовши над тіньовою поверхнею Меркурія на відстані 690 кілометрів. Під час кожного польоту проводилися наукові дослідження поверхні планети і робилися нові відкриття. В атмосфері Меркурія були знайдені сліди аргону, неону й гелію в трильйон разів у меншій кількості, ніж на Землі. Діапазон температур поверхні був у межах від +510 до -210 °С, напруженість магнітного поля — один відсоток земного, а маса планети — шість відсотків маси Землі. Також АМС посилали до Юпітера й Сатурна.

Завдяки космічним польотам вчені зробили висновок, що багато що на Землі і на інших планетах має однакове походження. Так, дані лазерної альтиметрії, отримані з космічного супутника «ERS-1», свідчать про те, що в Антарктиді є реліктові підльодовикові озера. Найбільше з них розташоване в районі станції «Восток». Відкриття гігантського озера під багатокілометровим шаром льоду справедливо стало одним із найбільших географічних відкриттів ХХ століття. Озеро Восток уже подарувало науці масу безцінної інформації. Приміром, його модель вразила астрономів подібністю до природних умов Марса. Відомо, що північний полюс червоної планети теж вкритий гігантським льодовиком. А мільйони років тому на Марсі, як і на Землі, сталися різкі зміни кута нахилу осі обертання. Інакше кажучи, області, що є нині полюсами холоду, на обох планетах мали в минулому набагато тепліший клімат. Тоді стає цілком правдоподібною гіпотеза про те, що й на нашому космічному сусіді є полярні озера, подібні до озера Восток. І якщо під льодовиками Антарктиди буде виявлено життя, то чому б йому не бути й на Марсі?

Навіть Національне космічне агентство США всерйоз зацікавилося цим озером, порівнявши його з океаном на Європі — супут-

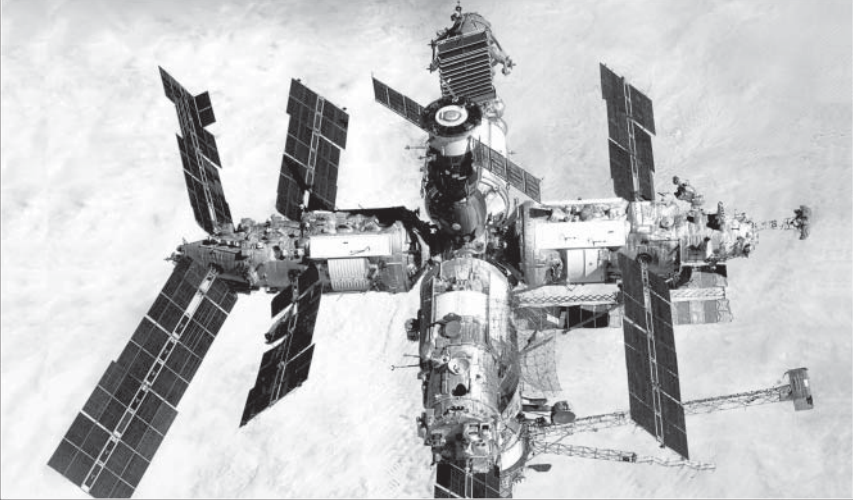
нику Юпітера. Виявляється, підльодовикове озеро на Землі — це ідеальний полігон для відпрацьовування технології проникнення під лід на Європі, де океан покритий, як мінімум, 20-кілометровою товщею льоду, а озеро Восток — «усього» чотирикілометровою. Так що у нової науки — космічної геодезії — попереду безліч нових відкриттів.

Величезним внеском у розвиток астрономічної, космічної і багатьох інших наук стало створення на орбіті Землі постійно діючих космічних станцій (КС). Створювати космічні пілотовані станції почали в США й СРСР практично одночасно — на початку 60-х років. Американці 14 травня 1973 року запустили на орбіту КС «Скайлеб». До лютого 1974 року на ній працювало три екіпажі. Останній у складі Джеральда Карра, Едварда Гібсона й Вільяма Поуга працював на її борту протягом 84 діб. Одинадцятим липня 1979 року станція ввійшла в щільні шари атмосфери й припинила своє існування.

У СРСР роботи із програми орбітальних КС завершилися 19 квітня 1971 року виведенням на орбіту ракетносієм «Протон» першої у світі орбітальної КС «Салют-1». На КС «Салют-1» відпрацював один екіпаж у складі Г. Добровольського, В. Пацаєва й В. Волкова, який загинув при поверненні на Землю. Через 175 діб після запуску по команді із Землі спрацювали гальмові двигуни, й КС «Салют-1» упала в Тихий океан. Усього успішно відпрацювали на орбіті сім станцій серії «Салют». Остання з них «Салют-7» працювала до кінця 1985 року.

У лютому 1986 року в СРСР була виведена в космос орбітальна станція нового покоління «Мир». У виготовленні базового блоку станції, бортового, наукового й наземного обладнання брали участь понад сто організацій двадцяти міністерств і відомств за головної ролі НПО «Енергія» в СРСР. Вона втілювала принципово новий підхід до заселення навколоземного простору. Якщо «Салюти» правили одночасно й за будинок, і за місце роботи, то «Мир» став базовим блоком, тобто тією ланкою, навколо якої групуються великі спеціалізовані космічні апарати — наукові модулі. У цих великих лабораторіях, насичених приладами й установками, проводяться наукові дослідження у різних галузях. Станція «Мир» була не тільки єднальною ланкою між різними космічними апаратами, але й виконувала роль центра, звідки екіпаж керував усім орбітальним комплексом. Перший модуль — астрофізична обсерваторія «Квант» — причалив до «Миру» навесні 1987 року.

Кожний модуль не тільки доставляв на орбітальну станцію вантаж з різноманітним обладнанням, але й виконував роль дослідного відсіку. Так, навколо модуля «Квант-1» був розташований комплекс астрофізичних приладів, переважно для дослідження недоступних



Орбітальна станція «Мир»

для спостереження із Землі рентгенівських джерел. На зовнішній його поверхні космонавти змонтували два вузли кріплення поворотних багаторазових сонячних батарей, а також робочий майданчик, на якому вели монтаж великогабаритних ферм.

«Квант-2» зосередив у собі значну кількість обладнання, необхідного для систем життєзабезпечення станції й створення додаткового комфорту її мешканцям. Шлюзовий відсік використовується як сховище скафандрів і як ангар для автономного засобу переміщення космонавта. На модулі «Кристал» була велика кількість наукового і технологічного устаткування. Апаратура модуля «Спектр» (геофізичний) давала змогу вести екологічний моніторинг атмосфери, океану, земної поверхні, медико-біологічні дослідження й ін. На модулі «Природа» (науковий) були сконцентровані прилади високоточного спостереження за землею поверхнею в різних діапазонах спектра. До складу модуля включено також близько тонни американського устаткування для вивчення поведінки людини протягом тривалого космічного польоту. Для пристиківки американського космічного корабля «Атлантис» був доставлений на станцію порівняно невеликий модуль, і це дало змогу вести наукову роботу вченим США та інших країн на радянській станції.

Але настав час, коли орбітальна станція «Мир» вичерпала свої технічні можливості. Двадцять третього березня 2001 року о 3 годині 33 хвилині за московським часом за командою Центру управління польотами центральний бортовий комп'ютер станції дав команду двигунам на перший гальмовий імпульс. О 5 годині 2 хвилини надійшов другий імпульс. Станції залишалося зробити всього два

витки — останніх, прощальних. Зі швидкістю 7 935 метрів на секунду «Мир» почав стрімко падати з орбіти. Останні хвилини «Миру» можна було побачити вже неозброєним оком. Через півгодини орбітального комплексу не стало. Розвалюючись на частини, він спалахнув могутнім феєрверком у щільних шарах атмосфери, посиляючи вогні прощального салюту в безкраї води Тихого океану. «Мир» зник, але йому на зміну прийшла міжнародна орбітальна станція.

Ще в 1984 році президент США Р. Рейган оголосив про початок робіт зі створення національної орбітальної станції. А в СРСР вже працювали над проектом станції п'ятого покоління «Мир-2». Державний космічний науково-виробничий центр ім. М. В. Хрунічева взявся за розробку першого орбітального модуля, який збиралися вивести на орбіту на початку 90-х років. Однак економічна ситуація, що виникла в той час у Росії, сповільнила темпи робіт над проектом. Саме тому так надовго подовжили експлуатацію комплексу «Мир». А 1993 року Росія й США уклали угоду про співробітництво в дослідженні космосу і почали спільно створювати постійну принципово нову орбітальну станцію на основі російського й американського сегментів. У ході третього етапу будівництва МКС повинно бути повністю завершено.

На етапі складання станції нарівно поділили роботи на борту між російськими й американськими космонавтами. При експлуатації — російський екіпаж постійно працюватиме на своєму сегменті, а час на американському сегменті: США — 76,6 %, Японія — 12,8 %, ESA — 8,3 % і Канада — 2,3 %. Російська сторона одержала доступ до використання 33 % ресурсів МКС.

Двадцятого листопада 1998 року був запущений перший елемент МКС — російський модуль «Зоря». Цим стартом почався другий етап складання найбільшої споруди в космосі. Друга фаза включає 17 запусків деяких елементів станції, а для завершення всіх робіт зі створення МКС має бути виконано 43 запуски (не враховуючи експлуатаційні польоти). Після закінчення будівництва це буде величезна споруда масою 470 тонн, довжиною 109 метрів і шириною 88,4 метра.

Перший екіпаж МКС у складі С. К. Крикальова, У. Шепарда, Ю. П. Гідзенка був доставлений на орбіту транспортним космічним кораблем «Союз ТМ-31» 31 жовтня 2000 року з космодрому Байконур (Казахстан). Екіпаж пропрацював на станції 141 добу і повернувся на Землю в Космічний центр ім. Дж. Ф. Кеннеді (штат Флорида, США) на кораблі «Дискавері». З того часу на МКС побувало вже дев'ять експедицій, і кожна з них зробила суттєві внески в розвиток наук.

Світ вступив лише в п'яте десятиліття космічної ери, а всі вже цілком звикли до космічних чудес: польотів у космос, супутнико-

вих систем зв'язку, спостереження за погодою та навігацією. Як про щось цілком буденне слухаємо повідомлення про багатомісячну роботу людей на орбіті, не дивуємося слідам на Місяці, фотографіям далеких планет, уперше показаному з космічного апарата ядрові комети. За дуже короткий історичний строк космонавтика перетворилася на невід'ємну частину нашого життя і науки, вірного помічника у господарських справах і пізнанні навколишнього світу. І немає ніякого сумніву, що подальший розвиток земної цивілізації буде пов'язаний з освоєнням усього навколоземного простору. Освоєння космосу — цієї «провінції всього людства» — триває.

Астрономічні цікавинки

Упродовж останніх двадцяти років приблизно три-чотири рази на рік преса повідомляє про все нові відкриття чорних дірок. І хоч насправді йдеться не про чорні дірки, а кандидатів у чорні дірки, багато дослідників взагалі мають сумнів щодо цих відкриттів як таких. Річ у тім, що точність вимірів невелика. Для того щоб виміряти всі фізичні параметри, потрібна космічна лабораторія зі своєю системою вимірів. Чи є така лабораторія? Так, є! Це — радіопульсар, що слугує ідеальним надточним годинником, своєрідним стандартом. Тільки ці зразки часу розкидані у всьому всесвіті. Усього в галактиці їх близько 500 000, а в подвійні системи входить близько 30 000 з них, вони і є особливо цікавими. Зміна ходу годинника цілком залежить від гравітаційного поля (а отже, від маси сусідки, що створює це поле), значить годинники — ідеальні ваги. Нині відомі радіопульсари в парі з білими карликами, з нейтронними зірками і навіть планетарними системами. А чи не існує їх у парі із чорними дірами? Використавши такий зв'язок, ми могли б зважити чорні діри і навіть зондувати їх (за допомогою радіохвиль) буквально «на краю прірви».

На безліч радіопульсарів не вистачає чутливості радіотелескопів. Однак, зробивши відповідні обчислення на комп'ютері, вчені із МДУ ім. М. В. Ломоносова на чолі з В. М. Ліпуновим переконалися, що таких пар, навіть за найгірших варіантів, повинно бути кілька тисяч, і невдовзі вони мають бути відкриті.

Для безлічі зірок астрономи дуже точно визначили їхнє положення й установили їх видиму зоряну величину. Такі великі списки з позначенням положень зірок дістали назву зоряних каталогів. Положення зірок на небі визначають за допомогою різних спеціальних інструментів. У цілому зусиллями вчених різних країн і в різний час в каталоги були занесені положення майже мільйона зірок. Отже, близько мільйона зірок не просто пораховані, а й перебувають на чіткому обліку.

В астрономії завжди потрібно чітко відрізнити видиме від дійсного. Так, близькі, як нам здається, зірки одного сузір'я можуть бути на різних відстанях від нас, а в просторі дуже далекими одна від одної. Отже, вказівка «у такому-то сузір'ї» означає вказівку на напрямок до зірки, а не положення її в просторі. Відстані до переважної більшості зірок поки що встановлено приблизно. Сила світла зірки порівняно із Сонцем називається її світністю. Якщо говорять, що світність зірки дорівнює п'яти, то це значить, що вона насправді в п'ять разів яскравіша за Сонце, а якщо її світність позначається 0,2, то вона в п'ять разів слабкіша за Сонце.

Світло зірок велике й різноманітне. Якщо світло Сонця взяти за світло свічі, то у Всесвіті є зірки, які світять і як нічні світлячки, і як потужні прожектори. Точніше кажучи, є зірки за силою світла в 50 тисяч разів слабкіші за Сонце (з них ми бачимо лише найближчі) і в мільйон разів яскравіші за нього. Деякі зірки іноді світять у мільярд разів яскравіше Сонця. Найяскравіші зірки яскравіші найслабкіших у десятки мільярдів разів. Таким чином, коли ми говоримо, що всі зірки — це такі ж сонця, як наше, то під цим ми маємо на увазі лише те, що всі вони самосвітні внаслідок високої температури небесного тіла. Сила ж їхнього світла, або світність, і їхні розміри дуже різні.

Якщо ми придивимося до найяскравіших зірок, то помітимо, що вони різного кольору: блакитнуватого, білого, жовтого, жовтогарячого й червоного. Як визначили вчені, колір зірки відповідає температурі її поверхні, тобто колір — це своєрідний «термометр» для зоряних температур. Блакитнуваті зірки найгарячіші — температура на їхній поверхні становить десятки тисяч градусів. Температура білих зірок (таких, як Сиріус і Вега) дорівнює близько 10 000 К за шкалою Кельвіна (нуль за шкалою Кельвіна дорівнює мінус 273,15 градусам за шкалою Цельсія, тобто $t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$). У жовтих (як Капела й наше Сонце) — порядку 6000 К і в червоних (як Бетельгейзе й Антарес) — 3000 К і нижче. Однак це температура поверхні зірки. У напрямку до центра зірок температура збільшується й у центрі сягає мільйонів і десятків мільйонів градусів. На Землі зовсім недавно такі високі температури були недосяжні. Тільки в останні десятиліття при вибуху атомних і водневих бомб вони виникають на короткий час. Причина і тут і там полягає в тому, що в надрах зірок відбуваються перетворення водню на гелій. Ці реакції підтримують потужне теплове й світлове випромінювання Сонця й зірок протягом дуже тривалого часу.

Якщо світло зірки розкласти скляною призмою на спектр, що має вигляд райдужної смужки, то з'ясується, що чим червоніший

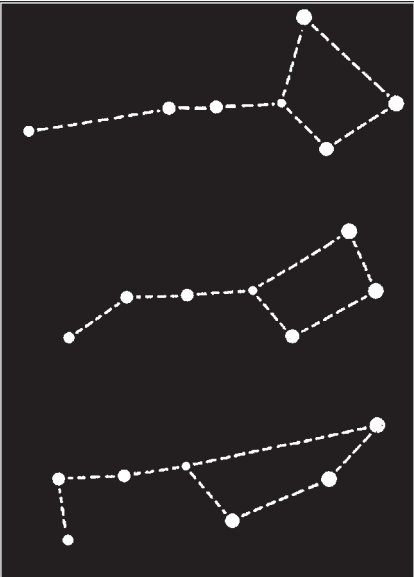
колір зірки й чим нижча її температура, тим яскравіші червоні промені в її спектрі. За розподілом яскравості вздовж спектра й визначають температуру поверхні зірки.

Учених часто запитують: чи є погаслі зірки. Про існування таких невідомо. Всі зірки хоча й слабо, але світаються. Випромінювальною здатністю зірки наділені на мільярди років, а світло навіть найвіддаленіших з них, які нам нині відомі, іде до Землі сотні й тисячі років. Можливо, що такі зірки «вже не світають», а світло їх усе ще йде до нас.

У світі зірок існують карлики й гіганти. Наше Сонце і навіть зірку, що значно більша за нього, вважають карликами. І що холоднішими й червонішими є карлики, то вони менші. Червоні карлики менші за Сонце за діаметром разів у десять і становлять більшість зоряного «населення». Чим зірки більші, тим рідше вони зустрічаються в просторі. Особливо рідко зустрічаються зірки-гіганти. На відміну від карликів, вони, чим холодніші й червоніші, тим більші, тож найбільшими зірками є червоні надгіганти. Червоний Антарес у сузір'ї Скорпіона за діаметром в 450 разів більший за Сонце. Жовтий гігант Капела із сузір'я Візничого тільки в 12 разів більший за Сонце. Одна із найбільших з нині відомих зірок W Цефея. Завдяки величезній силі світла їх ми бачимо на величезних відстанях.

Маси зірок різняться не так сильно, як їхні світність і розміри, хоча що більша світність зірки, то більша її маса. Щоб урівноважити надгіганта, кинутого на чашу вагів, на іншу чашу довелося б «покласти» кілька десятків зірок, подібних до Сонця, і ще більше червоних карликів, бо вони в кілька разів легші за Сонце. Але чим менша зірка, тим більша її щільність. Особливо цікавими є зірки, що рідко зустрічаються, — білі карлики. Так їх називають за їхній білий колір і малі розміри. Ці білі й гарячі зірки мають масу таку або ж трохи меншу, ніж наше Сонце. Але ця маса «утрамбована» в малий об'єм. Наприклад, супутник Сиріуса менший від Сонця за діаметром у 30 разів, а за об'ємом — в 27 тисяч разів. Його середня щільність приблизно в 30 тисяч разів більша щільності води.

У зоряному світі існують не тільки поодинокі зірки. Якщо подивитися на другу з кінця яскраву зірку в ручці ковша Великої Ведмедиці, то можна побачити, що близько-близько до неї тулиться слабіша зірочка — її супутник. Яскраву зірку араби колись прозвали Міцаром, а її супутника — Алькором. У телескоп таких подвійних зірок виявлена безліч. Іноді майже в одному напрямку видно дві зірки. У просторі вони перебувають дуже далеко одна від одної й не мають між собою нічого спільного. Але часто буває,



Розташування зірок сузір'я Великої Ведмедиці у давнину, в наш час і у віддаленому майбутньому

що такі зірки й у просторі розташовані близько одна від одної. Іноді зірки-близнюки дуже подібні і за кольором, і за блиском. Іноді ж вони різного кольору. Одна з них — жовта або жовтогаряча, а друга — блакитнувата. Розглядати їх у телескоп дуже цікаво — вони надзвичайно гарні. Фізично подвійні зірки пов'язані не тільки силами всесвітнього тяжіння, вони й виникли одночасно.

Так з'явилась і найяскравіша подвійна зірка неба Сиріус. Супутник цієї зірки — білий карлик — обертається навколо головної зірки за 50 років і віддалений від неї в 20 разів далі, ніж Земля від Сонця. Найближча до нас зірка (її видно в Південній півкулі Землі) — альфа

Центавра — насправді складається із двох головних зірок, дуже подібних до нашого Сонця. Період їхнього обертання становить майже 80 років, а середня їхня відстань одна від одної — в 23 рази більша відстані від Землі до Сонця.

У цих двох зірок є далекий супутник. Він обертається навколо них із у край довгим періодом. Супутник — червоний карлик і перебуває на своїй орбіті набагато ближче до нас, ніж обидві головні зірки. Тому супутника альфа Центавра називають Найближчою (латиною Proxima) Центавра. Це найближча до нас зірка, світло від неї йде до Землі близько чотирьох років. Вона перебуває від нас у 270 тисяч разів далі, ніж Сонце.

Альфа Центавра — приклад потрійної зірки. Такі зірки зустрічаються набагато рідше, ніж подвійні, але бувають і більш складні системи. Зірки, що входять до складу подвійних, потрійних і більших систем, називають компонентами цих систем. Тому Міцар з Алькором уже «переведені» в розряд чотириразової зірки, а іпсилон Ліри — приклад шестиразової зірки.

Влітку на світанку на сході над обрієм піднімається маленьке скупчення слабких зірок. Це Плеяди, яких у народі називають Стожарами. Звичайно в цій групі видно шість зірок, але гостре око може нарахувати до одинадцяти зірок, а в телескоп їх можна побачити понад сотню. Зірки в Плеядах розсіпані хаотично, це

приклад розсіяного зоряного скупчення. Навколо яскравого Альдебарана, червоної зірки, що називалася в стародавності Оком Тильця, перебуває ще більш розсіяна група зірок — зоряне скупчення Гіади. Таких зоряних скупчень ми знаємо близько семи-сот. Кількість зірок у них рідко перевищує сотню. Але існують скупчення набагато більшого розміру й з незрівнянно більшою кількістю зірок. Це кульові скупчення. Зірки в них (багато сотень тисяч) концентруються до центру скупчення. Простір, який вони обіймають, має форму кулі, через що вони й дістали свою назву. Кульові скупчення — найстаріші утворення в нашій зоряній системі. Розсіяні скупчення мають різний вік, але, загалом, їх вважають більш молодими системами. Наймолодші з них містять гарячі гігантські зірки й виникли «всього» кілька мільйонів років тому.

Ми бачимо лише найближчі з розсіяних зоряних скупчень, що віддалені від нас на сотні, іноді на кілька тисяч світлових років. Всі вони купчаться в смузі Чумацького Шляху. Найбільш далекі з них нам не видні, тому що в шарі зірок, які утворюють Чумацький Шлях, багато хмар космічного пилу. Цей пил послабляє світло далеких зірок, розташованих за такими хмарами. Через хмари космічного пилу десятки тисяч скупчень, які, імовірно, існують у нашій зоряній системі, залишаються для нас невідомими.

Плеяди цілком занурені у величезну пилову хмару. Яскраві зірки цього скупчення висвітлюють навколо себе пил, як ліхтар висвітлює вночі навколишній туман. Так, пилові хмари, затуляючи світло зірок, постають перед нами навіть у вигляді темних плям на сяючому тлі Чумацького Шляху, або ж виглядають як світлі туманності, коли близько від них є яскрава зірка, що може їх освітити. Космічний пил, як усякий пил, світить лише відбитим світлом. Однак космічний пил дуже дрібний. Коли світло проходить крізь нього, то сині промені послаблюються дужче, ніж зелені, зелені — дужче, ніж жовті, а жовті — дужче, ніж червоні. Тому на шляху до нас через пилове середовище світло зірок не тільки послабляється, але стає більш жовтуватим і навіть червонуватим. (З білого світла зірок сильніше поглинаються блакитні промені й залишається більше жовто-червоних променів.)

Одну з особливо близьких і щільних хмар космічного пилу видно як чорну пляму на тлі Чумацького Шляху біля яскравої зірки Денеб у сузір'ї Лебедя. Колись думали, що чорні плями в Чумацькому Шляху — це дірки, просвіти в товщі зірок, що його утворили, і що в цих місцях ми дивимося в зяючу пустоту міжзоряного простору. Втім, навпаки, тут перед нами «фіранки», що іноді приховують від нас навіть і не дуже далекі зоряні області.

Космічний пил є величезною й прикрою перешкодою для вчених. Він спотворює колір зірок, послаблює їхній блиск, а тих, що

більш віддалені, робить зовсім невидимими. Цілі області світового простору недоступні для оптичних спостережень через космічний пил. Його вплив доводиться враховувати, а для цього потрібно копітливо, крок за кроком вивчати, скільки й де космічного пилу розташовано у кожному напрямку.

Частково космічний пил виникає від зіткнення й руйнування дрібних твердих тіл, але у своїй основній масі він утворюється, напевно, внаслідок згущення міжзоряного газу.

«Пустота» міжзоряного простору є відносною. Цей простір заповнений не тільки полями тяжіння, магнітними полями, променями світла й тепла, що несуть енергію. Там носяться дрібні порошини, молекули й атоми газу. Цей невидимий газ був виявлений за лініями поглинання в спектрах зірок. Цей газ хоч і дуже розріджений, але, зважаючи на величезні відстані від зірок, він за час подолання світлом цих відстаней встигає поглинути певні лінії спектру зірок. Виникнення радіоастрономії дало змогу вченим виявити цей невидимий газ і вивчати його рух за тими радіохвилями, які він випромінює.

Радіотелескопи «промацують» хмари міжзоряного газу на таких далеких від нас відстанях, де у звичайні телескопи зірки вже не видні внаслідок поглинання їхнього світла міжзоряним пилом. Для радіохвиль цей пил майже прозорий. Для них прозорі й хмари, через які ми не бачимо зоряного неба. Для радіоастрономів погода завжди ясна.

Якщо подивитися в ясну безмісячну зимову ніч на прекрасне сузір'я Оріона, що сяє з південного боку неба, то під трьома яскравими зірками пояса цього міфічного мисливця можна побачити три слабкі зірочки, що утворюють коротку вертикальну лінію — меч Оріона. Навколо середньої з них у бінокль видно слабке мрячне мерехтіння. Це знаменита газова-пилова дифузійна (безформна) туманність Оріона. Вона являє собою величезну хмару газу й пилу, у яке занурене багато зірок.

Тільки фотографія може виявити всю красу й усю складність структури цього газу, що охоплений повільними вихровими рухами. З газу, який утримується в цій світлій газовій туманності (до якої домішаний і пил), можна було б «виготовити» сотні сонць. Та вони й справді, напевно, десь виникають із газу. Своїм виникненням вони зобов'язані силі всесвітнього тяжіння, що конденсує розріджений газ в ущільнені газові кулі — зірки. Але зірки, які утворилися з газу, світяться вже самі, за рахунок джерел, що втримуються в їхніх надрах, енергії, яка виділяється в результаті атомних перетворень. Газові ж туманності світяться лише тоді, коли в них або поблизу є дуже гарячі блакитнуваті зірки. Їх потужне ультрафіолетове й рентгенівське випромінювання змушує газ сві-

титися. Це світіння газу трохи подібне до того, яке відбувається в трубках з розрідженим газом, через який пропускають електричний розряд. Якщо немає поблизу гарячої зірки, то й хмара газу залишається невидимою.

Газові туманності, як і зірки, в основному складаються з водню. Крім нього, в них є інші легкі гази — гелій, азот, кисень — і частки більш важких хімічних елементів.

Найкращі насоси, що відкачують повітря в земних лабораторіях, не можуть створити такого вакууму, такого розрідженого газу, який існує в газових туманностях. Розходження в щільності газу в туманності й у кращих земних вакуумах таке ж, як у щільності свинцю й земного вакууму. Світіння газів у туманності ми бачимо тому, що товща її величезна: від одного краю газової туманності до іншого світло йде кілька років, а загальна маса туманності зазвичай становить десятки, сотні, а іноді й десятки тисяч мас Сонця. А яких гарних й вигадливих форм набувають газові дифузійні туманності!

Іноді видатні відкриття в астрономії роблять аматори. Так у 1925 році в Південній Африці листоноша — аматор астрономії — розніс пошту й повертався додому. Він звично оглянув поглядом знайомі сузір'я і помітив, як дивно змінилися обриси сузір'я Живописця, утвореного яскравими зірками. У сузір'ї з'явилася яскрава зірка, якої вчора ще не було. Це спалахнула нова зірка. Листоноша негайно повідомив про своє відкриття в найближчу обсерваторію, а та, як звичайно, сповістила центр екстрених повідомлень про астрономічні відкриття. За кілька годин нову зірку в Живописці вже спостерігали багато обсерваторій світу.

Листоноша був не єдиним аматором астрономії, якому пощастило відкрити нову зірку, що несподівано спалахнула на небі. Наприклад, нову зірку в сузір'ї Персея в 1901 році відкрив київський гімназист Борисяк, а в сузір'ї Геркулеса в 1960 році — норвезький аматор астрономії Хассель.

Для вчених нові зірки теж спалахують зненацька. Далека не примітна зірочка за кілька діб розгоряється, і блиск її підсилюється в десятки тисяч разів. У цей час вона стає приблизно у стільки ж разів яскравіша Сонця. Якщо так спалахнула близька зірка, то в найбільшому блиску ми бачимо її як зірку першої величини. Якщо ж спалахнула дуже далека зірка, то й у найбільшому блиску вона не приверне до себе уваги й або залишиться непоміченою, або буде виявлена через роки при порівнянні однієї з одною слабких зірок на фотографіях, отриманих у різний час.

Новими такі зірки називали в давнину, коли думали, що це справді з'явилися нові зірки, яких не було раніше. Нова зірка

в найбільшому блиску залишається недовго, звичайно близько доби. За кілька років вона стає такою ж, якою була до спалаху.

Різними дослідженнями встановлено, що в нашій зоряній системі щорічно спалахують десятки або навіть сотня нових зірок. Але ми помічаємо лише деякі з найближчих. А зовсім близькі спалахи нових зірок, що на короткий час стають суперниками найяскравіших зірок неба, спостерігаються рідко. Їх бачили в 1901, 1918, 1920, 1925, 1934, 1944 роках.

Чому так невтримно наростає блиск нових зірок? А тому, що в деяких зірок під впливом ще не цілком розкритих внутрішніх фізичних процесів раптово зриваються їхні зовнішні оболонки, які випромінюють світло, і з величезною швидкістю, що сягає 1000 км/сек, мчать у навколишній простір, роздуваючись, мов мильна булька. Така оболонка швидко збільшує свою поверхню й випромінює більше світла. Але, роздуваючись, оболонка нової зірки стає все більш розрідженою й прозорою. Блиск зірки починає зменшуватися, хоча оболонка продовжує мчати в простір з такою шаленою швидкістю, що притягання зірки не в змозі її загальмувати. Через кілька років після спалаху оболонка стає такою великою, що її можна легко спостерігати й стежити за її розширенням. Нарешті вона розсіюється. Зірка під час спалаху стає дуже гарячою, з неї вириваються хмари розпечених газів. Але поступово вона заспокоюється, як вулкан після виверження.

Вчені дотепер не знають причин спалахів нових зірок і скидання їхніх оболонок. Безсумнівно лише те, що в таких зірках у якісь моменти відбувається бурхливе виділення енергії, тобто вибух. При цьому зірка втрачає близько однієї десятитисячної частки своєї маси, але не руйнується.

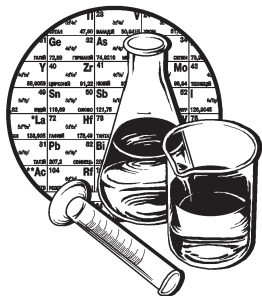
Датський астроном Тіхо Браге ще в 1572 році спостерігав спалах нової зірки в сузір'ї Кассіопеї. Вона якийсь час світила так само яскраво, як і Венера, і похитнула релігійні уявлення, що панували в той час про незмінюваність світу. Останнім часом з'ясувалося, що нова зірка в Кассіопеї не була звичайною новою зіркою. У найбільшому блиску її сила світла була більшою, ніж у звичайних нових зірок, у десятки тисяч разів. Тому її назвали надновою. Наднова зірка світить так само, як гігантська зоряна система, що складається з мільярдів сонць, подібних до нашого. Спалах наднових зірок — явище вкрай рідкісне. Останній спалах, що спостерігався в нашій Галактиці, був у сузір'ї Змієноця в 1604 році. Це спостерігав Кеплер.

Дивовижні сили природи, що породжують світові катастрофи у вигляді спалахів наднових зірок, ученими ще не розгадані. Може статися, що їхні таємниці розкриєте ви, юні читачі, знаючи те, що вже відомо, і використовуючи методи й прилади майбутнього, яких ще немає.

IV

КОРОЛЕВА ПЕРЕТВОРЕНЬ





Хімія зароджувалась як «мистецтво перетворення неблагородних металів на благородні» і тільки в 1882 році Д. Менделєєв визначив її як «учення про елементи і їхні сполуки». Визначення із сучасного шкільного підручника у свою чергу значно відрізняється від менделєєвського: «Хімія — наука про речовини, їхні сполуки, будову, властивості, взаємні перетворення і закони цих перетворень». Слід зазначити, що загальноприйнятий розподіл хімії на розділи засновано на цілій низці різних принципів. Розподіл хімії на органічну й неорганічну зроблено за їхньою різницею. Виокремлення фізичної хімії засновано на її близькості до фізики, аналітична хімія виокремлена за ознаками використовуваного методу дослідження. У цілому загальноприйнятий розподіл хімії на розділи є значною мірою даниною історичній традиції, а кожний розділ багато в чому переплітається з усіма іншими.

«Таємне мистецтво» єгипетських жерців, чи Пошук філософського каменю

Хімія у доантичний і античний період мала характер ремісництва, тобто виникла вона як суто практична галузь. Це був так званий доалхімічний період, коли людство намагалось пристосувати навколишнє середовище до своїх потреб. Найважливішу роль у перетворенні людиною природи відігравали різного роду хімічні операції з речовиною. Однак початок зародження ремісницької хімії треба передусім пов'язувати, мабуть, з появою й розвитком металургії. В історії Давнього світу традиційно виокремлюють Мідний, Бронзовий і Залізний віки, у яких основним матеріалом для виготовлення знарядь праці й зброї були відповідно мідь, бронза й залізо.

Мідь уперше була отримана виправкою з руди приблизно за 9000 років до нашої ери. Достеменно відомо, що наприкінці VII тисячоліття до нашої ери існувала металургія міді й свин-



Кабінет середньовічного вченого

цю. Приблизно 3000-м роком до н. е. датуються перші вироби з олов'яної бронзи, сплаву міді й олова, значно твердішого, ніж мідь. Трохи раніше (приблизно з V тисячоліття до н. е.) набувають великого поширення вироби з миш'якової бронзи — сплаву міді з миш'яком. Бронзове століття в історії тривало близько двох тисяч років і саме тоді зародилися найбільші цивілізації стародавності. Перші ж вироби із заліза неметеоритного походження виготовлені приблизно за 2000 років до нашої ери, а десь із середини II тисячоліття до нашої ери вироби із заліза були дуже популярними в Малій Азії, трохи пізніше — в Греції і Єгипті. Поява металургії заліза являла собою значний крок уперед, оскільки з технологічного боку процес виплавляння заліза є значно складніший за процес виплавляння міді або бронзи.

Приблизно в IV столітті до нашої ери у Персії відкрили спосіб виготовлення булатної сталі — високовуглецевого заліза, якому за допомогою тривалої обробки надавалися абсолютно унікальні пластичність і твердість. У ранньому середньовіччі поширилась так звана дамаська сталь, що являє собою порівняно дешеву підробку під справжню булатну сталь.

У III тисячолітті до нашої ери були відомі також і способи одержання з руди золота й срібла. У середині II тисячоліття до нашої ери вперше отримали ртуть. Таким чином, у Давньому світі були відомі в чистому вигляді

сім металів: мідь, свинець, олово, залізо, золото, срібло й ртуть, а у вигляді сплавів — ще й миш'як, цинк і вісмут. Досягнення металургів стародавності стали основою металургійної техніки всього середньовіччя. Крім металургії, нагромадження практичних знань відбувалося й в інших галузях хімічної технології. Уже в III тисячолітті до нашої ери крім відомої з найдавніших часів теракоти — обпаленої глини — набувають значного поширення виробы з майоліки, вкритої шаром обливної глазурі, пофарбованої оксидами свинцю, заліза, міді, кобальту. Приблизно до того ж часу належать і перші виробы зі скла, знайдені в Месопотамії, Єгипті й Палестині. Справжнє виробництво скла, що забарвлювали в різні кольори, з'явилося в Давньому Єгипті в середині II тисячоліття до нашої ери. Єгипетські рецепти, що датовані II тисячоліттям до нашої ери, свідчать також і про досить високий рівень розвитку парфумерного мистецтва, косметики, технологій фарбування тканин і дублення шкір, фармації тощо.

Слід зазначити, що в доантичні й ранні античні часи саме Єгипет був загальновизнаним лідером у галузі хімічної технології (окрім, мабуть, металургії). Досить важливою особливістю ремісницької хімії в Давньому Єгипті було те, що всі ремесла перебували під егідою храмів, у яких жерці ретельно записували й зберігали використовувані технології й рецептури. Найвищого розквіту хімічні (як, утім, і всі інші) технології Давнього світу набувають в елліністичному Єгипті й імператорському Римі.

Нагромадження запасу практичних відомостей і навичок, одержання великої кількості нових речовин з різноманітними властивостями вже в античні часи дало можливість зробити певні узагальнення. Саме в античній філософії вперше намагалися вирішити проблеми походження властивостей речовини. Перші філософські уявлення про природу речовини й походження її властивостей зародилися майже одночасно в різних цивілізаціях близько VII століття до нашої ери. У Китаї це зробили Конфуцій і Лао-Цзи, в Індії — Будда, у Персії — Зороастр (Заратустра), у Греції — філософи так званої Мілетської школи. Саме Фалес Мілетський став засновником грецької натурфілософії. На його думку, оскільки всі речовини здатні до взаємоперетворень, то всі вони є проявами однієї основної речовини — архесоми (елемента). За Фалесом, основною речовиною є вода. Анаксімен з Мілета (бл. 585—525 до н. е.) твердив що першоосновою Всесвіту й усіх тіл (речовин) є повітря. Ксенофан (бл. 565—473 до н. е.) вважав, що першоосновою є земля. Геракліт Ефеський (бл. 540—475 до н. е.) виокремлює як першооснову мінливий вогонь, який і сам усе змінює. Анаксимандр (бл. 610—546 до н. е.) висловив припущення, що всі речовини (тіла) навколишнього світу утворюються

внаслідок сполучення води, землі й вогню. Емпедокл із Агригента (бл. 490—430 до н. е.) доводить кількість елементів-стихий до чотирьох — землі, води, повітря й вогню. Ідею існування чотирьох початків підтримували й такі великі філософи античності, як Піфагор і Платон.

До логічної досконалості систему чотирьох стихій довів один з найбільших мислителів античності — Арістотель, який висловив думку про те, що чотири відомі стихії не матеріальні, а є лише різними проявами (станами) першоматерії — її, тобто проявами її протилежних властивостей — холоду або тепла, вологості або сухості.

Тепло + сухість = вогонь	Тепло + вологість = повітря
Холод + сухість = земля	Холод + вологість = вода

Важливим моментом у вченні Арістотеля є здатність елементів до взаємоперетворення і змішування (на відміну від механічного). Положення про можливість перетворення одного елемента на інший стало пізніше основою алхімічної ідеї про можливість взаємних перетворень металів (трансмутації). Арістотель (384—322 р. до н. е.) узагальнив і розвинув ідеї своїх попередників. Наприклад, він увів «п'ятий елемент» — *эфір*, що заповнює всі небесні сфери довкола Землі. У середні віки «п'ятий елемент» стали називати «квінтесенцією» — «п'ятою сутністю». Для подальшого розвитку науки про речовину особливо важливим є вчення Арістотеля про зміну якостей. Він пояснив, що виникнення нових речовин відбувається не через просте перемішування першоелементів: «Коли що-небудь з'єднується одне з одним, то зміст змішаного стає єдиним. Але це відбувається не так, нібито речі зібрали до купи, а так, як утворюються склади. Склад являє собою іншу якість, що відрізняється від його елементів-букв...». На відміну від Емпедокла, Платон і Арістотель були «теоретиками» і оперували не з речовинами, а тільки з філософськими поняттями.

В античні часи вчені дійшли висновку, що існує межа ділення найменших частин речовин. Демокріт з Абдери (бл. 460—370 до н. е.) назвав ці неподільні, вічні, абсолютно міцні частинки *атомами* (atomos — неподільні). «Немає нічого, крім атомів, що вічно рухаються в нескінченній пустоті» — ця теза Демокріта лягла в основу античного атомізму. До того часу всі наукові концепції категорично заперечували можливість існування пустоти (вакууму). Але за Демокрітом кількість форм

Чотири стихії античних натурфілософів можна прирівняти також до чотирьох агрегатних станів речовини — твердого, рідкого, газоподібного й плазмового.

атомів є безкінечною — а отже, з'єднуючись між собою в різних сполученнях, атоми матерії



Алхімічні зображенні хімічних елементів

У народженій в Александрії алхімії відразу ж з'явився свій небесний заступник — бог Тот — єгипетський аналог греко-римського Гермеса-Меркурія. Тот-Гермес часто ототожнюється з легендарним засновником алхімії Гермесом Трисмегістом (Тричі Найвеличнішим), якому, на думку алхіміків, люди зобов'язані існуванням писемності, календаря, астрономії тощо. В Александрійській академії лабораторії «священного мистецтва» — алхімії — містилися в храмі Серапіса (храм життя, смерті й зцілення). Протягом усього свого існування алхімія залишалася наукою герметичною, закритою для непосвячених.

На зміну ремісницькому періоду в розвитку хімії прийшов алхімічний період. Колискою хімії вважають Александрійську академію, що була заснована Александром Македонським у 332 році до нашої ери. Саме в Александрійській академії відбувається об'єднання теорії (античної натурфілософії) і практичних знань про речовини, їхні властивості і перетворення; з цієї єдності й народжується нова наука — *khemeia*. Сама назва, напевно, походить від давньої назви Єгипту — Кем, або Хем — і, вочевидь, мала означати щось на кшталт «єгипетського мистецтва».

утворюють нові речовини з різними властивостями. Самі ж атоми в сполюках зберігають свою індивідуальність. Цікаво, що цей учений вважав, що атоми сполючаються між собою за допомогою... виступів, втім, нічого кращого за маленькі відростки, за допомогою яких атоми переплітаються, він також запропонувати не зміг.

В історичних довідках у переважній більшості вступів до курсу хімії про алхімію йдеться як про якусь «недохімію», що затуманювала містикою свідомість людей «темного» середньовіччя. Втім, недовіра до алхіміків значною мірою пояснюється величезною кількістю шарлатанів та тих, що «робили золото», які з'явилися в подальший період розвитку алхімії. Насправді ж європейські алхіміки, чий світогляд визначався трьома релігіями (іудаїзм, християнство, іслам), розвивали лише «зовнішню» алхімію — як набір магічних прийомів готування філософського каменю (еліксиру безсмертя). У Китаї, де мирно співіснували три релігійні вчення — даосизм, конфуціанство й буддизм, — зовнішня речовинна алхімія була відкинута як помилкова і розвилася «алхімія дао» — цілісне вчення про досягнення довголіття й безсмертя.

До безсумнівних практичних досягнень греко-єгипетських алхіміків слід віднести відкриття явища амальгамування металів, що описане Діоскорідом у I столітті нашої ери. Амальгама золота починає застосовуватися для позолоти. Алхіміки також розробили спосіб очищення золота капелюванням — нагріванням руди зі свинцем і селітрою. Першим визначним представником александрійської алхімії, ім'я якого дійшло до наших днів, був Болос Де-

Слово «амальгама» походить від грецьких слів *malassein* — зм'якшувати, *malagma* — зм'якшувачий. Справді, ртуть робить метали, з якими вона утворює сплави, м'якими. Звідси й англійське *malleable*, одне зі значень якого — піддатливий, поступливий.

мокрітос із Менде (бл. 200 р. до н. е.), який у книзі «Фізика й містика» вперше висловив ідею трансмутації металів — перетворення одного металу в інший,

насамперед неблагородних металів (свинцю або заліза) на золото, що стало основним завданням усього алхімічного періоду. Болос також перший описав способи виготовлення сплавів, подібних до благородних металів, зокрема — готування латуні — жовтого сплаву міді із цинком, — яка, на думку Болоса, була золотом.

Загалом слід зазначити, що про александрійський етап алхімії відомо дуже мало. Причиною цього насамперед стало практично повне знищення Александрійської бібліотеки. Крім цього, римський імператор Діоклетіан (243—315), щоб виключити можливість одержання дешевого золота, заборонив ці заняття й наказав знищити всі праці по *khemeia*. Християнство посилювало гоніння на алхімію, що була названа ерессю. Так, у 529 році Римський Папа Григорій I заборонив читання давніх книг і заняття математикою й філософією, і християнська Європа поринула в морок раннього середньовіччя.

Але в Малій та Середній Азії, Північній Африці арабські халіфи опікувалися науками. На Близькому Сході — у Дамаску, Баг-

даді, Кордові, Каїрі — створювалися університети, які дали людству велику плеяду видатних учених. Слово *khemeia* перетвориться в арабській мові на *al-khimiya*, що дало назву описуваному періоду. Так, Абу Муса Джабір ібн Хайан (721—815), більш відомий як Гебер, розробив ртутно-сірчану теорію походження металів, що стала теоретичною основою алхімії на кілька наступних століть. Ця теорія була по-



Магічна фігура з алхімічної книжки. Дві руки вказують на кубок, в якому знаходяться сім металів

кликана більш конкретно пояснювати властивості металів (зокрема такі, як блиск, ковкість, горючість) і обґрунтовувати можливість трансмутації. Джабір ібн Хайан вважав, що для утворення золота, крім ртуті й сірки, необхідна наявність якоїсь дуже щільної субстанції, яку він назвав *al-iksir* (еліксир, від грецького *xerion*, тобто «сухий»). Пізніше в Європі ця субстанція дістала назву філософського каменю. Цей еліксир, на думку послідовників Гебера, повинен був мати ще багато магічних властивостей — зцілювати всі хвороби і, можливо, давати безсмертя. Саме ці «побічні функції» еліксиру й закріпилися в сучасному значенні цього слова в російській мові. Взагалі слід зазначити, що арабська алхімія завжди як найтісніше була пов'язана з медициною, яка в арабському світі була досить розвинена (зокрема, у Багдаді ще в VIII столітті з'явилася перша державна аптека), і практично всі арабські алхіміки були відомі ще і як лікарі.

Тому нема нічого дивного в тому, що славетний бухарський лікар Абу Алі ал-Хусейн ібн Абдаллах ібн ал-Хасан ібн-Сіна абу Алі, або Авіценна (980—1037), став першим критиком ідеї трансмутації металів, реалізацію якої вважав неможливою. Він твердив, що головним завданням алхімії має стати приготування лікарських засобів. Взагалі для арабських алхіміків характерним було ретельне ставлення до описання експериментів. Ваги й лабораторна техніка вже до XI століття сягають високого ступеня досконалості.



Алхімік за роботою (старовинна гравюра)

Зокрема, Ахмед ал-Біруні і Абд ар-Рахман Хазіні наводять у своїх працях величини щільності металів, що відрізняються від сучасних значень менш ніж на один відсоток.

Протягом арабського етапу створюються основні теорії алхімії, формується понятійний апарат, розробляються лабораторна техніка й методика експерименту. Арабські алхіміки досягають безсумнівних практичних успіхів — вони виділили сурму, миш'як і фосфор, отримали оцтову кислоту й розчини сильних мінеральних кислот. Арабська алхімія, на відміну від александрійської, була цілком раціональною. Найважливішою заслугою арабських алхіміків стало створення раціональної фармації, яка розвила традиції античної медицини.

Після XII століття центр алхімії поступово знов переміщується в Європу, але там вона перебуває майже в підпільному стані. Однак європейські можновладці, як світські, так і церковні, оголосивши алхімію поза законом, у той же час потай захищали її, розраховуючи на зиск, який обіцяло знаходження способу одержання золота. Внаслідок цього європейська алхімія являє собою герметичну науку, доступну тільки для посвячених, серед них було чимало ченців. Так, чернець-домініканець Альберт фон Больштедт (1193—1280), більш відомий як Альберт Великий, написав працю «Книга про Алхімію», а чернець-францисканець Роджер Бекон (1214—1292) — трактат «Дзеркало Алхімії». У їхніх творах

частка містицизму порівняно невелика, але більшість алхіміків-містиків вели пошуки у семи напрямках:

- 1) приготування еліксиру, або філософського каменю;
- 2) створення гомункулуса;
- 3) готування алкагеста — універсального розчинника;
- 4) палігенез, або відновлення рослин з попелу;
- 5) приготування світового духу — магічної субстанції, однією з властивостей якої є здатність розчиняти золото;
- 6) витяг квінтесенції;
- 7) приготування рідкого золота, найдовершенішого засобу для лікування.

Ці містичні пошуки інколи приводили до відкриттів. Так, у 1270 році італійський алхімік кардинал Джованні Фіданца (1121—1274), відомий як Бонавентура, при спробі одержати універсальний розчинник відкрив розчин нашатирю в азотній кислоті, що виявився здатним розчиняти золото, царя металів (звідси й назва — *aqua Regis*, тобто царська водка).

До середини XVI століття в європейській алхімії виокремилися раціональні течії — іатрохімія і технічна хімія, що стали свого роду перехідним етапом від класичної алхімії до нової наукової хімії. Видатними представниками технічної хімії стали Ваноччо Бірінгуччо (1480—1539) та Георг Бауер (1494—1555), більш відомий як Агрікола. Їхні твори являють собою свого роду енциклопедії, присвячені мінералогії, металургії, гірничій справі, виробництву кераміки, тобто технологічним процесам, які включають також і хімічні операції з речовинами. Фундатором іншого раціонального напрямку в алхімії — *іатрохімії* (від грецького *iatros* — лікар) став німецький лікар і алхімік Філіпп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенгейм, що ввійшов в історію під псевдонімом Парацельс (1493—1541). Він займався пошуками еліксиру все життя й навіть твердив, що знайшов його. Парацельса не цікавили трансмутація металів і пошуки золота, він вважав, що завдання алхімії — виготовлення ліків. Завдяки його безсумнівним успіхам, досягнутим



Парацельс

В архівах Лондонського королівського товариства були знайдені рукописи Ньютона, які свідчать про його захоплення алхімією. З 1404 року заняття алхімією, а саме спроби синтезувати благородні метали, були в Англії під забороною. Незважаючи на це, автор закону всесвітнього тяжіння й один із творців математичного аналізу був переконаний в існуванні філософського каменю й посилався на роботи знаменитого алхіміка Парацельса. Про долю документів нічого не було відомо відтоді, як у 1936 році їх продали на аукціоні Сотбіс за 15 фунтів стерлінгів.

досягнуті досить значні експериментальні успіхи і закладені основи для наукової хімії, становлення якої починається в середині XVII століття. Не треба, однак, вважати, що поява наукової хімії автоматично означала кінець алхімії. Алхімічні традиції зберігалися в науці ще тривалий час, і багато видатних натуралістів продовжували вважати трансмутацію металів можливою.

Від античного атомізму до хімічної революції

Як наука хімія народилася одночасно з першою науковою хімічною теорією — в 1697 році німецький хімік Георг Ернст Шталь (1659—1734) опублікував роботу «Основи зимо техніки, або Загальна теорія шумування», де вперше було викладене вчення про *флогістон**. Слід визнати, що творцем теорії флогістону вважається також і німецький хімік Йоганн Іоахим Бехер (1635—1682), і Шталь віддавав йому пальму першості. На думку Штalia, флогістон є складовою частиною всіх горючих тіл, що виділяється під час горіння або випалу. Роль повітря полягала в «убиранні» флогістону; листя рослин «усмоктувало» флогістон з повітря, а при горінні деревини він знову виділявся. Зрозуміло, хіміки давно пояснили вчення про флогістон на підставі закону збереження маси, що був відкритий значно пізніше. Це припущення сприяло подальшій активізації кількісних досліджень. Ще одним результатом створення флогістонної теорії було активне вивчення хіміками газів взагалі й газоподібних продуктів горіння зокрема. З'являється так звана пневматична хімія, основоположники якої Дж. Блек (1728—1799), Д. Резерфорд (1749—1819), Г. Кавендіш (1731—1810), Дж. Прістлі (1733—1804) і К. В. Шеє-

у медицині, погляди Парацельса дістали широкое визнання, тому до представників іатрохімії (спагіриків, як називали себе послідовники Парацельса) можна віднести багатьох відомих алхіміків XVI—XVII століть.

Загалом у раціональних напрямках в алхімії — іатрохімії й технічній хімії — були

* Флогістон — від грецького «флогістос», тобто займистий.

ле (1742—1786) стали творцями цілої системи кількісних методів дослідження в хімії.

І все ж таки виокремленням хімії в самостійну науку ми зобов'язані дослідженням великого англійського вченого Роберта Бойля. Він відокремив хімію від споріднених наук і показав, що в ній існують свої проблеми, свої задачі, які треба розв'язувати своїми методами, які відрізняються від методів, що притаманні медицині чи фізиці. Систематизуючи численні кольорові реакції й реакції осадження, Бойль поклав початок аналітичній хімії. Він же став автором одного з перших законів фізико-хімічної науки, що зародилася завдяки йому.

Бойль створив лабораторію, де наприкінці 1645 року почав дослідження з фізики, хімії й агрохімії. Учений-енциклопедист, вивчаючи проблеми біології, медицини, фізики й хімії, цікавився також філософією, теологією й мовознавством. Першорядного значення він надавав лабораторним дослідженням. Найцікавішими і найрізноманітнішими були його досліди з хімії. Він був переконаний, що хімія, відокремившись від алхімії й медицини,



Георг Ернст Шталь

Роберт Бойль (1627—1691) був тринадцятою дитиною із чотирнадцяти дітей Річарда Бойля — першого герцога Йоркського, лихого користолюбця, що жив у часи королеви Єлизавети й помножив свої угіддя, захопивши чужі землі. Дитинство Роберта минуло в Лісмор Касле — одному з ірландських маєтків батька. Він здобув чудову домашню освіту й у віці восьми років став студентом Ітонського університету. Там він провчився чотири роки, після чого разом із братом подорожував по Європі. Продовжив він освіту у Швейцарії й Італії, проживши там шість років. В Англію Бойль повернувся тільки в 1644 році, вже після смерті батька. Значний спадок дав йому змогу займатися наукою.

цілком може стати самостійною наукою. Спочатку Бойль взявся за приготування настоїв із квітів, цілющих трав, лишайників, з кори дерев і коріння рослин. Найцікавішим був фіолетовий настій, що він його отримав з лакмусового лишайника. Кислоти змінювали його колір на червоний, а луги — на синій. Бойль просочив цим настоем папір (лакмусовий папір)

і потім висушив його. Клаптик такого паперу, занурений у випробуваний розчин, змінював свій колір і показував, кислий це розчин чи лужний. Це була одна з перших речовин, які вже тоді Бойль назвав індикаторами.

Повз увагу спостережливого вченого не могла пройти ще одна властивість розчинів: коли до розчину срібла в азотній кислоті додавали небагато соляної кислоти, утворювався білий осад, що його Бойль назвав «луна корнеа» (хлорид срібла). Якщо цей осад залишали у відкритій посудині, він ставав чорним. Це була аналітична реакція, яка показувала, що в досліджуваній речовині є «луна» (срібло). Сумніви молодого вченого щодо універсальної аналітичної здатності вогню тривали і він шукав інші способи для аналізу. Його багаторічні дослідження показали, що, коли на речовини діють тими чи іншими реактивами, вони можуть розкладатися на простіші сполуки. Використовуючи специфічні реакції, можна було визначати ці сполуки. Одні речовини утворювали забарвлені осад, інші виділяли газ із характерним запахом, треті давали розчини певного кольору тощо. Процеси розкладання речовин і ідентифікацію отриманих продуктів розкладу за допомогою характерних реакцій Бойль назвав *аналізом*. Це був новий метод роботи, що дав поштовх розвитку аналітичної хімії.

У своїй книзі «Хімік-скептик» Бойль каменя на камені не залишив від учення Арістотеля про чотири елементи, що проіснувало мало не дві тисячі років, від Декартового «ефіру» і трьох алхімічних засад. Природно, що цю книгу різко критикували послідовники давніх учених. Однак Бойль спирався в науці на досвід, і тому докази його були незаперечні. Більша частина вчених — послідовники корпускулярної теорії — захоплено сприйняли його ідеї. До найсуттєвіших відкриттів Бойля слід віднести:

- поняття аналізу сполуки речовин (1654);
- застосування індикаторів для визначення кислот і лугів (1663);
- корпускулярну теорію: дані про первинні корпускули як елементи й про вторинні корпускули як змішані тіла (1661);
- газовий закон, або закон Бойля—Маріотта (1662 р.; фізичний закон);
- одержання ацетону з ацетату калію, новий спосіб одержання фосфору, одержання фосфорної кислоти й фосфористого водню;
- вивчення щільності рідин за допомогою винайденого ним ареометра;
- введення поняття елемента (1661).

Елементи, згідно з Бойлем, — це речовини, які практично не розкладаються і являють собою подібні одна до однієї однорід-

Раніше молекули називали корпускулами, що латиною дослівно означає «маленьке тіло». Слово ж «молекула» походить від латинського *moles* — велика вага, брила, громада, масивна структура — зі зменшувальним суфіксом — *cula*, який можна знайти в словах «везикула» (маленький пухирець у тілі тварини), «пелликула» («маленька шкурка», оболонка одноклітинних організмів), «кутикула» (тонка зовнішня плівка в рослин), «туберкула» (маленький вузлик у тканинах, звідси — туберкульоз) тощо.

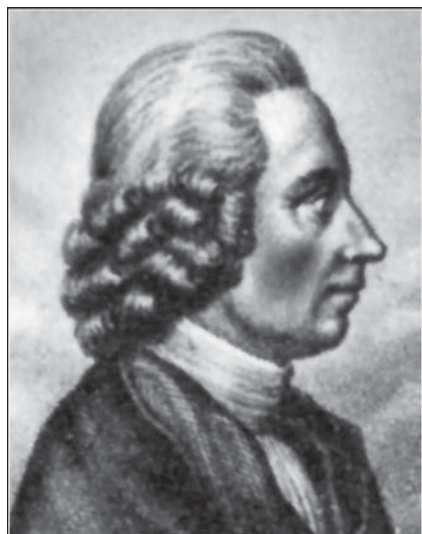
про речовину, що практично не розкладається (слід зазначити, що тотожність термінів «елемент» і «проста речовина» зберігалася до середини XIX століття), швидко здобуло широке визнання серед натуралістів.

Наприкінці XVII століття настав час відкриття *кисню* (оксигену) та кисневої теорії горіння. Дивно, але кисень відкривали декілька разів. Перші відомості про нього зустрічаються вже в VIII столітті в трактаті китайського алхіміка Мао Хоа. Китайці уявляли собі, що цей газ («йін») — складова частина повітря, і називали його «діяльним початком». Мешканцям найбільшої азійської країни було відомо й те, що кисень з'єднується з деревним вугіллям, сіркою, що горить, та деякими металами. Китайці могли й одержувати кисень, використовуючи сполуки типу селітри.

Усі ці давні відомості поступово забулися. Лише в XV столітті про кисень згадує великий Леонардо да Вінчі. Знову його відкриває в XVII столітті голландець Дреббель. Про нього відомо дуже мало. Імовірно, то був великий винахідник і великий учений. Він зумів створити підводний човен. Однак об'єм човна був обмежений, тому брати із собою повітря, що складається в основному з азоту, було не вигідно. Логічніше використовувати кисень. І Дреббель одержав його із селітри! Це відбулося в 1620 році, більш ніж за сто п'ятдесят років до «офіційного» відкриття кисню Прістлі й Шеєле.

З 1774 по 1799 рік Джозеф Прістлі (1733—1804) відкрив або вперше одержав у чистому вигляді сім газоподібних сполук: закис азоту, хлористий водень, аміак, фтористий кремній, діоксид сірки, оксид вуглецю й кисень. Йому пощастило це зробити завдяки тому, що він суттєво поліпшив лабораторне устаткування для збирання газів. Замість води в пневматичній ванні, як це робив раніше англійський учений Стівен Гейлс, Прістлі почав використовувати ртуть. Він незалежно від Шеєле відкрив кисень, спостерігаючи виділення газу при нагріванні без доступу повітря

ні корпускули, з яких складені всі складні речовини й на які вони можуть бути розкладені. Корпускули можуть розрізнятися за формою, розміром, масою. Корпускули, з яких утворені тіла, залишаються незмінними при перетвореннях останніх. Уявлення Бойля про елемент як



Джозеф Прістлі

твердої речовини, що перебуває під скляним ковпаком, за допомогою сильної двоопуклої лінзи.

У 1774 році Прістлі провів досліди з оксидом ртуті й суриком. Маленьку пробірку з невеликою кількістю червоного порошку він опустил відкритим кінцем у ртуть і нагрівав речовину зверху за допомогою двоопуклої лінзи. У наступному році він описав властивості, які відрізняють «нове повітря» від «іншого газу» — закису азоту. Свої досліди (одержання кисню при нагріванні оксиду ртуті) Прістлі згодом описав у шеститомній праці «Досліди й

спостереження над різними видами повітря». Дослідження Прістлі з хімії газів, і особливо відкриття ним кисню, підготували поразку теорії флогістону й визначили нові шляхи розвитку хімії.

Через два місяці після одержання кисню Прістлі, приїхавши до Парижа, повідомив про своє відкриття Лавуазьє, який враз збагнув, яке величезне значення має його відкриття, і використав його при створенні найбільш загальної кисневої теорії горіння й спростуванні теорії флогістону.

Одночасно із Прістлі працював Карл Вільгельм Шеєле (1742—1786), який розпочав свій трудовий шлях аптекарем. Він писав про свої пріоритети в науці: «Дослідження повітря є нині найважливішою задачею хімії. Цей пружний флюїд має багато особливих властивостей, вивчення яких сприяє новим відкриттям. Дивний вогонь, цей продукт хімії, показує нам, що без повітря він не може вироблятися...» Свої хімічні досліди Карл Вільгельм проводив, улаштувавшись де-небудь на тісному підвіконні аптеки. Але навіть у таких умовах він зробив багато визначних відкриттів. Так, наприклад, вивчаючи дію сонячного світла на хлорид срібла, Шеєле помітив, що потемніння останнього починається у фіолетовій ділянці спектра й виражено воно там найбільше.

У 1770 році Шеєле оселився в Упсалі, де в університеті працювали такі відомі вчені, як ботанік Карл Лінней і хімік Торберн Бергман. Вони з Бергманом незабаром стали друзями, що сприяло успіхам у науковій діяльності обох хіміків. Шеєле був одним з тих учених, чий експериментальні дослідження суттєво сприяли тому,

що хімію почали сприймати як науку. Він відкрив кисень, хлор, марганець, барій, молібден, вольфрам, органічні кислоти (винну, лимонну, шавлеву, молочну), сірчаний ангідрид, сірководень, кислоти — плавикуву й кремнієфторводневу та багато інших сполук. Карл Вільгельм уперше одержав газоподібні аміак і хлористий водень. Він також показав, що залізо, мідь і ртуть мають різні ступені окиснювання. Шеєле виділив з жирів речовину, яку згодом назвали гліцерином. Йому належить заслуга одержання ціаністоводневої (синильної) кислоти з берлінської лазури.



Карл Вільгельм Шеєле

Найбільш значна праця Шеєле «Хімічний трактат про повітря й вогонь» містить його експериментальні роботи, виконані в 1768—1773 роках. Із цього трактату видно, що Шеєле трохи раніше за Прістлі одержав і описав властивості «вогненного повітря» — кисню. Учений одержав кисень різними шляхами: нагріванням селітри, нітрату магнію, перегонкою суміші селітри із сірчаною кислотою. «“Вогненне повітря”, — писав Шеєле, — є те саме, за допомогою чого підтримується циркуляція крові й соків у тварин і рослин... Я схильний думати, що “вогненне повітря” складається з кислої тонкої матерії, з'єднаної із флогістоном, і, ймовірно, що всі кислоти беруть свій початок від “вогненного повітря”».

Шеєле пояснював отримані результати припущенням, що теплота — сполука «вогненного повітря» і флогістону. Отже, він, так само як і М. В. Ломоносов, і Г. Кавендіш, ототожнював флогістон з воднем і думав, що при спалюванні водню в повітрі (при сполученні водню й «вогненного повітря») утворюватиметься теплота.

Хоча звичайно й говорять, що Шеєле спізнився з публікацією своєї статті (1775) відносно Прістлі приблизно на два роки, однак відомо, що Шеєле відкрив кисень принаймні на три місяці раніше за Прістлі.

У другій половині XVIII століття хімія була на підйомі — відкриття йшли за відкриттями. У цей час з'являються такі блискучі експериментатори, як Прістлі, Блек, Шеєле, Кавендіш та інші. У роботах Блека, Кавендіша й особливо Прістлі вчені відкривають новий світ — світ газів, до того часу майже невідомий. Прийоми



Антуан Лоран Лавуазьє

Антуан Лоран Лавуазьє народився в родині адвоката 28 серпня 1743 року. Початкову освіту він здобув у колегі Мазаріні, де вчився відмінно. За основним фахом він був адвокатом, але юридичні науки не могли задовольнити його безмежної допитливості. Не залишаючи своїх занять правом, він вивчав математику й астрономію в Лакайля (дуже відомого на той час астронома), ботаніку — у великого Б. Жусьє; мінералогію — у Гетара, що склав першу мінералогічну карту Франції, хімію — у Руеля. Лавуазьє було 25 років, коли його обрали членом Академії наук.

закон хімії, який би керував хімічними реакціями. Попереду було й створення методу дослідження, що впливав би із цього основного закону, пояснення головних хімічних явищ і, нарешті, розвінчання існуючих фантастичних теорій. Це потребувало не тільки таланту експериментатора, а й мудрості.

Найбільше в науковій діяльності Лавуазьє справляє враження його строго логічний хід міркувань. Спочатку учений вироб-

досліджень постійно вдосконалюються. Блек, Кронштедт, Бергман та інші вчені розробляють якісний аналіз. Внаслідок цього вони відкривають велику кількість нових елементів та сполук.

Неабияке значення для створення кисневої теорії горіння мали, крім того, відкриття водню Кавендішем у 1766 році та азоту Резерфордом у 1772 році (слід зазначити, що Кавендіш прийняв водень за чистий флогістон). Значення зробленого Шеєле й Прістлі відкриття зміг правильно оцінити французький хімік Антуан Лоран Лавуазьє (1743—1794), який розвінчав концепцію флогістону й сформулював *кисневу теорію горіння*. Разом з великими досягненнями хімічного аналізу ця подія поклала початок *першій хімічній революції*.

Лабораторія Лавуазьє зробилася центром тодішньої науки. Тут можна було бачити найславетніших учених того часу — Лапласа, Монжа, Лагранжа, Гітона Морво, Маккера. Лавуазьє витрачав величезні кошти на придбання й монтування приладів, будучи зовсім не схожим щодо цього на своїх сучасників. У той час ще не був відкритий основний

ляв метод досліджень. Потім він ставив дослід. Так, протягом ста одного дня Лавуазьє переганяв воду в замкнутому апараті. Вода випаровувалася, охолоджувалася, поверталася в приймач, знову випаровувалася і так далі. В результаті залишилася значна кількість осаду. Звідки він узявся, якщо загальна вага апарата після закінчення досліду не змінилася: отже, ніяка речовина ззовні не надходила. Під час цього досліду Лавуазьє переконується у все-сильності свого методу — методу кількісного дослідження.

Досконало опанувавши метод, Лавуазьє підійшов до головного свого завдання. Його роботи, що стали фундаментом сучасної хімії, охоплюють період з 1772 по 1789 рік. Вихідним пунктом його досліджень був факт збільшення ваги тіл при горінні. В 1772 році він подав до академії коротеньку записку, в якій повідомляв про результат своїх дослідів, що показали: при згорянні сірки й фосфору їх вага збільшується за рахунок повітря, іншими словами, вони з'єднуються із частиною повітря.

Цей факт — основне, капітальне відкриття явища, що стало ключем до пояснення всіх інших. Ніхто цього не розумів, та й сучасному читачеві може з першого погляду здатися, що йдеться тут про поодинокі неважливі явища... Але це не так. Пояснити факт горіння означало пояснити цілий світ явищ *окиснення*, що відбуваються завжди й усюди в повітрі, землі, організмах — у всій мертвій і живій природі, у незліченних варіаціях і найрізноманітніших формах.

Близько шістдесяти праць Лавуазьє присвятив з'ясуванню різних питань, пов'язаних із цим вихідним пунктом. Явища горіння, природно, приводять вченого, з одного боку, до дослідження повітря як хімічної сполуки, з другого боку — до вивчення інших форм окиснення; утворення різних окисів і кислот і з'ясування складу їхньої сполуки; до процесу дихання, а звідси — до дослідження органічних тіл і відкриття органічного аналізу.

Тепер перед Лавуаз'є постали завдання першочергової важливості — розробка теорії горіння й розв'язання пов'язаних з цим процесом питань щодо визначення складу повітря. В 1774 році він подав до академії записку про прожарювання олова, у якій сформулював і довів свої погляди на горіння. Олово прожарювалося в замкнутій реторті й перетворилося на «землю» (окис). Загальна вага залишилася незмінною — отже, збільшення ваги олова не могло відбуватися за рахунок приєднання «вогненної матерії», що проникає, як гадав Бойль, крізь стінки посудини. А ось вага металу помітно збільшилася, і це збільшення дорівнювало вазі тієї частини повітря, що зникла при прожарюванні. Виходить, що метал, перетворюючись у «землю», з'єднується з повітрям. Цим і вичерпується процес окиснення: ніякі флогістони, «вогненні матерії» тут не беруть участі. У даному об'ємі повітря може згоріти тільки

Термін кисень — *oxygenium* — з'явився вперше в 1777 році в роботі Лавуазьє «Загальний розгляд природи кислот і принципів їхньої сполуки». Він також увів назву водень — *hydrogenium*. Вчений помилково думав, що кисень входить до складу всіх кислот. Логічніше було дати назви навпаки: назвати кисень воднем (цей елемент теж «народжує» воду), а водень — киснем, бо він входить до складу всіх кислот.

мене припускати, що повітря — не проста речовина, як гадали раніше, а складається з досить різних речовин».

Ще через рік Лавуазьє вперше точно дослідив склад повітря. На його думку, до складу повітря входять два гази: «чисте повітря», здатне підсилювати горіння й подих, окиснювати метали, і «мефітичне повітря», що не має цих властивостей. (Назви кисню і азоту були дані пізніше.) Учений міркував так. Вага металу збільшилася, тобто до нього приєдналася якась речовина. Звідки вона взялася? Визначаємо вагу інших речовин, що вступали в реакцію, і бачимо, що вага повітря зменшилася на стільки, на скільки збільшилася вага металу; отже, шукана речовина виділилася з повітря. Це і є метод вагового визначення. Однак для того щоб зрозуміти значення цього методу, потрібно визнати, що всі хімічні тіла мають вагу, що вагоме тіло не може перетворитися на невагоме, що, нарешті, жодна частинка матерії не може зникнути або виникнути з нічого.

Тоді ж Лавуазьє відкрив будову «постійного повітря», як називали вуглекислоту. Якщо нагрівати окис ртуті в присутності вугілля, то кисень, що виділяється, з'єднується з вугіллям і утворює «постійне повітря». У трактаті «Про горіння взагалі» (1777) вчений докладно розвиває свою теорію. Усяке горіння є сполучення речовини з киснем; результат його — складна речовина, а саме «металева земля» (окисел) або кислота (ангідрид за сучасною термінологією).

Теорія горіння привела до пояснення різних хімічних сполук. Уже давно навчилися вирізняти окисли, кислоти й солі, але їх будова залишалася загадковою. Тоді Лавуазьє дав першу наукову систему хімічних сполук, установивши три головні групи — *окисли* (сполуки металів з киснем), *кислоти* (сполуки неметалевих речовин з киснем) і *солі* (сполуки окислів і кислот).

У своєму підручнику «Елементарний курс хімії» Лавуазьє наводить перший в історії нової хімії список хімічних елементів (таблицю простих тіл), розподілених на кілька типів.

певна кількість металу, причому під час цього процесу зникає тільки певна кількість повітря. Звідси випливає думка про його складові: «Як видно, частина повітря здатна, з'єднуючись із металами, утворювати “землю”, інша ж — ні; ця обставина змушує

1. Прості речовини, що належать до всіх царств природи, які можна розглядати як елементи			
Світло	Кисень	Азот	Водень
2. Прості неметалеві речовини, що окиснюються й дають кислоти			
Сірка	Радикал мурашиної кислоти (cl)		
Фосфор	Радикал плавикової кислоти (f)		
Вугілля	Радикал бурової кислоти (b)		
3. Прості металеві речовини, що окиснюються й дають кислоти			
Сурма	Срібло	Миш'як	Вісмут
Золото	Вольфрам	Кобальт	Мідь
Олово	Залізо	Платина	Цинк
Марганець	Ртуть	Молібден	Нікель
Свинець			
4. Прості солетворні земельні речовини			
Вапно	Магнезія	Кремнезем	Барит

У 1783 році Лавуазьє надрукував книгу «Міркування про флогістон», яка стала свого роду похоронним маршем по старій теорії. Але головним досягненням ученого вважають те, що він поєднав водень і продукт його окиснення, що дало Лавуазьє змогу закласти фундамент *органічної хімії*. Він визначив сполуку органічних тіл і створив органічний аналіз. Таким чином, історія органічної хімії, як і неорганічної, починається з Лавуазьє, який сформулював основні положення кисневої теорії горіння.

Хімічна революція Лавуазьє завершує період становлення хімії. Вона знаменує собою повну раціоналізацію хімії, остаточну відмову від застарілих натурфілософських і алхімічних уявлень про природу речовини і її властивостей. Після хімічної революції хімія вступила в період кількісних законів, у якому створюється й розвивається нова концепція хімічного елемента — атомно-теоретична.

На розвиток теоретичної хімії суттєво вплинуло відкриття Гей-Люссаком *закону простих відносин об'ємів реагуючих газів*. Цей закон разом зі щойно відкритим Дальтоном законом кратних відносин ліг в основу теорії хімічних сполук. Тож Гей-Люссак належить до тих хіміків, які в першій половині XIX століття заклали основи класичної хімії.

Жозеф Луї Гей-Люссак (1778—1850) народився в невеликому містечку Сен-Леонар у французькому графстві Лімузин і здобув строгу католицьку освіту. У 15 років він переїхав до Парижа, де навчався в пансіоні Сансьє, а згодом в Політехнічній школі, де хімію викладав відомий хімік Клод Луї Бертолле. Після закінчення курсу Гей-Люссак недовго працював на хімічних підприємствах,

Першим російським ученим-натуралістом світового значення був М. В. Ломоносов (1711—1765). Він народився в селі Денисівка (нині с. Ломоносово) у сім'ї бідного помора. В 19 років з рибним обозом він пішов навчатися до Москви і вступив до Слов'яно-греко-латинської академії. Згодом він продовжив навчання спочатку в Києво-Могилянській академії, а потому в Академічному університеті в Санкт-Петербурзі та в Німеччині. Михайло Васильович відомий не тільки як видатний учений, але і як поет, що заклав основи сучасної російської літературної мови, як художник, історик, поборник розвитку вітчизняної освіти, науки й економіки. Він став першим російським академіком, заснував при Академії наук у 1748 році першу в Росії хімічну лабораторію, а в 1755 році — Московський університет. Відкриття Ломоносова сприяли розвитку багатьох галузей знання. Вчений-енциклопедист розвивав атомно-молекулярні вчення про будову речовини. У період панування теорії теплорода він твердив, що теплота обумовлена рухом корпускул; сформулював принцип збереження матерії й руху; заклав основи фізичної хімії; досліджував атмосферну електрику й силу ваги; висунув учення про колір; створив ряд оптичних приладів; відкрив атмосферу на Венері; описав будову Землі, пояснив походження багатьох корисних копалин і мінералів; опублікував посібник з металургії. Найвидатніший російський просвітитель XVIII століття відродив мистецтво мозаїки й виробництво смальти.

Жаком Тенором, сприяла значному вдосконаленню методу елементного аналізу органічних речовин.

Учений був чудовим експериментатором. У скромно обладнаній лабораторії він відкрив чимало явищ і законів, досить важливих для подальшого розвитку хімії. Вже в 1805 році Гей-Люссак і Олександр фон Гумбольдт, вивчаючи відношення об'ємів реагуючих газів, визначили, що один об'єм кисню з'єднується із двома об'ємами водню. Оскільки вимірювати гази за об'ємом набагато простіше, ніж за масою, він продовжив вивчення об'ємних від-

але вже в 1802 році став «репетитором» (асистентом) у Політехнічній школі. Того ж року він виступив на засіданні Академії наук зі своїм першим науковим повідомленням: «Про осадження оксидів металів». Для молодого вченого 1802 рік був щасливим: незалежно від Джона Дальтона він відкрив закон теплового розширення газів.

Гей-Люссак нерідко проводив дослідження разом з іншими видатними вченими, що сприяло багатьом відкриттям. Разом з Жаном Батистом Біо він у 1804 році піднявся на повітряній кулі, щоб визначити температуру й вміст вологості у верхніх шарах атмосфери, а разом з Вельтером відкрив дітіонову кислоту. Тісна дружба, що пов'язувала Гей-Люссака з паризьким професором хімії Луї

ношень при реакціях газів. Результати цих робіт він опублікував У 1808 році в статті «Про сполуки газоподібних тіл одного з одним». Гей-Люссак хотів «довести, що газоподібні тіла сполучаються один з одним у дуже простих відношеннях і що зменшення об'єму, яке спостерігається при реакціях, підлягає певному закону».

Вчений відкрив цей закон суто дослідним шляхом. Він не прагнув, виснувавши цей закон, вивчати всілякі газові реакції, а обмежився їхньою порівняно невеликою кількістю. На основі цих даних учений сформулював закон і зробив з нього висновки. Так, вимірявши об'єми взаємодіючих газів, Гей-Люссак правильно встановив сполуку аміаку й п'яти оксидів азоту. Зіставивши формулювання закону з результатами, він упевнився, що його закон підтверджується.

Дуже важливим є те, що Гей-Люссак показав, як на основі відкритого ним закону можна розрахувати ще не відомі щільності газоподібних речовин. Ясність і послідовність викладання Гей-Люссаком своїх думок і результатів досліджень може бути прекрасним прикладом для всіх натуралістів. Так, Берцеліус з великим успіхом застосував закон Гей-Люссака для визначення сполук і кількісних характеристик багатьох елементів і сполук. Роботи цього французького вченого також суттєво допомогли зміцнити відкритий Прустом закон сталості сполук, який можна було застосовувати не тільки для твердих, але й для газоподібних речовин.

У своїх дослідженнях Гей-Люссак виходив з якісних спостережень і взяв до уваги кількісні дослідження як головні умови й критерії для формулювання свого відкриття. Так у хімії виникло уявлення про зв'язок між якістю й кількістю, що мало неабиякий вплив на формування атомно-молекулярного вчення.

До одних з найвизначніших перших відкриттів ХІХ століття належить спектральний аналіз, що відноситься як до фізики, так і до хімії. Ретельно дослідив спектр у 1802 році англійський лікар і хімік Вільям Хайд Волластон (1766—1828), але не надав лініям спектру особливого значення. Зіставили колір спектра та хімічні елементи два інші вчені — Густав Роберт Кірхгоф (1824—1887) і



Жозеф Луї Гей-Люссак



Густав Роберт Кірхгоф



Роберт Вільгельм Бунзен

Роберт Вільгельм Бунзен (1811—1899). Усе почалося з того, що Р. Бунзен помітив, що речовини, обертаючись на пару, фарбують полум'я в різні кольори. Так мідь давала зелене полум'я, поварена сіль — жовте, а стронцій — малиново-червоне. Здавалося, варто тільки помістити в пальник речовину — і по кольору полум'я вдасться визначити його склад. Але незабаром Бунзен переконався, що речовини різного складу в деяких випадках фарбували полум'я однаково. Тоді його співвітчизник Г. Кірхгоф запропонував пропускати світло полум'я через скляну призму, що розділяє кольорові промені на монохроматичні. Для ока полум'я, пофарбоване літєм або стронцієм, завжди одного — малиново-червоного кольору, а після проходження через призму світло літєвого полум'я розкладається на дві лінії — яскраву малинову й поруч із нею слабку помаранчеву, а стронцій дає блакитну, дві червоні й помаранчеву лінії.

Виявилося, що пари будь-якого хімічного елемента, які світяться, випромінюють тільки одному йому властивий спектр — набір монохроматичних випромінювань, кожному з яких у спектрі належить своя лінія. Спектри всіх елементів зібрані в спеціальних таблицях. У них зазначені довжини хвиль, послідовність і інтенсивність спектральних ліній. Так, по спектрах учені навчилися розшифровувати склад випромінюючої речовини. З'явився новий розділ фізики — спектроскопія, що вивчає спектри електромагнітного випромінювання. Це відбулося в 1859 році, тоді ж, коли Бунзен і Кірхгоф проаналізували перші лінійчаті спектри хіміч-

них елементів і опублікували замітку на двох сторінках «Про лінії Фраунгофера», у якій у початковій формі були викладені принципи хімічного аналізу, заснованого на спостереженнях спектра (спектральний аналіз). Незважаючи на малий об'єм ця замітка містила одразу чотири відкриття:

- кожний елемент має свій лінійчастий спектр, а значить строго певний набір ліній;
- подібні лінії можна використовувати для аналізу складу речовин не тільки на Землі, але й на зірках;
- Сонце складається з гарячого ядра й порівняно холодної атмосфери розпечених газів;
- на Сонці є елемент натрій.

Перші три положення незабаром підтвердилися, як і гіпотеза про будову Сонця. В 1868 році експедиція Французької академії наук на чолі з астрономом Жансеном побувала в Індії і виявила, що при повному сонячному затемненні, у момент, коли його розпечене ядро закрите тінню Місяця й світитиметься тільки корона, — всі темні лінії в спектрі Сонця спалахують яскравим жовтим світлом — кольором натрію. Друге положення свого відкриття Кіргхоф і Бунзен не тільки блискуче підтвердили, але й скористалися ним для відкриття двох нових елементів: рубідію й цезію.

Одним із основних законів хімії став закон діючих мас. Те, що процес хімічної взаємодії залежить від кількості діючих мас, підтверджували факти, що надходили як з галузі органічної, так і з галузі неорганічної хімії. Хіміки М. Розі, Р. Бунзен, Д. Гледстон у першій половині 50-х років XIX століття зібрали матеріал для доведення існування зворотних хімічних перетворень і можливості зміни напрямку реакції шляхом підбору відповідних умов її протікання. Французький хімік Сент-Клер Девіль (1818—1881) у 1857 році довів, що розкладання хімічних сполук може починатися і при температурі нижче температури їхнього повного розкладання. Він провів багато дослідів і довів що під впливом температури відбувається розкладання водяної пари на кисень і водень при температурі плавлення платини (1750 °C) і при температурі плавлення срібла (950 °C). Це явище, «явище мимовільного розкладання води», він назвав *дисоціацією*.

Французький учений показав, що деякі сполуки, навіть найбільш стійкі, легко дисоціюють при високих температурах (1200—1500 °C) і що при цьому хімічною рівновагою можна керувати, змінюючи температуру й тиск. Девіль пов'язував хімічну рівновагу із двома взаємообумовленими процесами: сполучанням і розкладанням. Його праці з термічної дисоціації мали першорядне зна-



Амадео Авогадро

Ім'я першовідкривача Амадео Авогадро (1776—1856) має один з головних законів фізики. Цей закон свідчить про те, що в однакових об'ємах різних газів перебувають однакові кількості молекул за одних і тих самих умов (таких, як температура й тиск). Вчений відкрив, що навіть такі прості газоподібні речовини, як азот, кисень, водень, існують у вигляді двоатомних молекул. Авогадро вивів нові правильні формули води — H_2O та вуглекислого газу — CO_2 , метану — CH_4 та етилену — C_2H_2 тощо. Всі формули записані були на основі сучасних уявлень про відносну атомну масу різних елементів.

що викликає утворення A і B , зростає пропорційно коефіцієнту спорідненості для реакції $A + B = A' + B'$, але, окрім того, вона залежить від мас A і B . Ми вивели з наших дослідів, що сила пропорційна добутку діючих мас двох тіл A і B ... «Сили» прямої й зворотної реакцій урівноважуються...» Це і є закон діючих мас. У наступній праці «Про хімічну спорідненість» учені впер-

чення для подальшого розвитку вчення про хімічні рівноваги. Високо цінував роботи Сент-Клер Девіля по дисоціації його послідовник і засновник російської школи фізико-хіміків М. М. Бекетов (1827—1911), який сказав, що вони є не тільки історичною епохою в розвитку хімії, але й поворотом у напрямку вивчення хімії динамічної. Головні роботи Бекетова присвячені вивченню природи хімічної спорідненості, хімічної рівноваги й термохімії. Він відкрив спосіб відновлення металів з їхніх оксидів, заклав основи алюмінотермії, виявив видавлювання металів з розчинів їхніх солей воднем під тиском.

Наступний крок у розвитку дисоціації зробили французький хімік Анрі Дебре (1827—1888), норвезький фізико-хімік Като Максиміліан Гульдберг (1836—1902) і норвезький хімік Петер Вааге (1833—1900). Норвезькі вчені математично сформулювали закон діючих мас, побудувавши свою теорію на загальній умові рівноваги. В 1867 році у своїй монографії «Дослідження сил хімічної спорідненості» Гульдберг і Вааге показали, що хімічні реакції протікають як у прямому, так і у зворотному напрямку. «Сила,

ше дали молекулярно-кінетичне пояснення хімічних реакцій і рівноваг.

Спираючись на своє трактування хімічної рівноваги, Гульдберг і Вааге вперше визначили кінетичний характер закону діючих мас і дійшли висновку, що швидкість реакції визначається ймовірністю зіткнення частинок, що вступають у взаємодію. В 1880 році з'явилася велика кількість робіт на підтвердження закону діючих мас. Закон дав змогу успішно застосовувати це відкриття для вивчення рівноваги хімічних реакцій. Сьогодні закон є основним рівнянням хімічної кінетики, що використовується для розрахунку технологічних процесів.



Август Кекуле

Проривом у галузі хімії можна вважати відкриття теорії хімічної будови речовин і сполук. Так, великий реформатор хімії, як іноді називали Шарля Фредеріка Жерара (1816—1856), переконався, що хімічні явища починаються лише тоді, коли речовина змінюється, тобто перестає існувати як така. А в 1858 році відомий хімік Август Кекуле (1829—1896) відкриває положення про чотириатомність вуглецю у сполуках, що містять у своїй сполуці кілька вуглецевих атомів, і в такий спосіб доходить висновку про можливість доцільного зчеплення вуглецевих атомів у багатовуглецевих сполуках. Надалі це правило зчеплення Кекуле поширює й на випадки сполуки вуглецевих атомів з іншими багатоатомними елементами, такими, наприклад, як кисень, азот тощо.

Пізніше Кекуле підійшов упритул до проблеми будови органічних сполук, маючи відправним пунктом атомність або валентність елементів, але рішучого кроку в цьому напрямку не зробив. І хоча відчувалося наближення нового періоду в розвитку хімії, потрібен був, проте, геній Бутлерова, щоб зробити прорив у цьому напрямку.

У віці 26 років Бутлеров уже мав учену ступінь доктора хімії й фізики і став професором Казанського університету. Вивчаючи вуглеводні, Бутлеров зрозумів, що дійшов висновку, що це — зовсім особливий клас хімічних речовин. Аналізуючи ж їхню будову й властивості, учений помітив, що тут існує сувора



Олександр Михайлович Бутлеров

Олександр Михайлович Бутлеров (1828—1886) народився в Бутлерівці, невеличкому селі неподалік від Казані, де його батько мав маєток. Матері своєї Сашко не пам'ятав, бо вона померла через одинадцять днів після його народження. Вихований батьком, він хотів у всьому бути схожим на нього. Спочатку Олександр навчався в пансіоні, згодом у Першій казанській гімназії, після закінчення якої склав іспити на природниче відділення Казанського університету. Щоправда, його прийняли тільки як слухача, бо він був ще неповнолітнім. Лише в наступному, в 1845 році, коли юнакові виповнилося 17 років, ім'я Бутлерова з'явилося в списку прийнятих на перший курс.

теорії хімічної будови речовин. Ця теорія відрізнятиметься точністю математичних законів і дасть змогу передбачати властивості органічних сполук».

закономірність. Вона й лягла в основу створеної ним теорії хімічної будови. У 1861 році вчений уперше сформулював положення теорії хімічної будови органічних сполук, яка стала базовою для розвитку органічної хімії в XIX—XX століттях. Він увів у науку поняття хімічної будови молекул, тобто відкрив певну послідовність розподілу зв'язків між атомами. Усі досліді підтвердили правильність його теорії, що найбільш яскраво знайшло свій вияв в ізомерії. *Ізомерами* називаються такі сполуки, що мають однакові якісний і кількісний склади, однакові молекулярні маси, але відрізняються будовою, а отже, і властивостями.

Ідея Бутлерова викликала загальний інтерес і жваві дебати серед хіміків. Учений казав: «Здатності атомів з'єднуватися один з одним різні. Особливо цікавий з його погляду вуглець, який, на думку Августа Кекуле, є чотиривалентним. Якщо уявити валентність у вигляді щупальців, за допомогою яких атоми зв'язуються між собою, не можна не помітити, що спосіб зв'язку відбивається на властивостях відповідних сполук». Подібних думок ніхто на той час не висловлював. «Може, настав час, — продовжує Бутлеров, — коли наші дослідження повинні стати основою нової

За словами німецького дослідника Віктора Мейєра, бутлерівська теорія хімічної будови стала «дороговказною зіркою у величезній кількості досліджень в галузі органічної хімії».

У тієї або іншої речовини. Саме це й дає право стверджувати, що Бутлеров є творцем теорії хімічної будови. Структурна теорія була підтверджена Бутлеровим експериментальним шляхом. У 1863 році Бутлеров, впливаючи діметилцинком на хлористий ацетил, уперше в історії хімії одержав найпростіший третинний спирт — третинний бутиловий спирт, або триметилкарбінол. Невдовзі в науковій літературі з'явилися повідомлення про успішно проведений синтез первинного й вторинного бутилових спиртів. Тепер стало зрозуміло, що існує чотири різних бутилових спирти. І всі вони — ізомери. Це був триумф структурної теорії Бутлерова. Кращим підтвердженням вчення Бутлерова про ізомерію став синтез теоретично передбачених ізомерів — ізобутану й ізобутілену. Між іншим, сьогодні одержання вуглеводнів і спиртів набуло колосальних промислових масштабів, їх одержують мільйони тонн.

Успіх дав ученому впевненість, але водночас поставив перед ним нове, більш складне завдання. Необхідно було застосувати структурну теорію до всіх реакцій і сполук органічної хімії, а головне, написати новий підручник з органічної хімії, де всі явища розглядалися б з погляду нової теорії будови. Книга «Вступ до повного вивчення органічної хімії» вийшла друком трьома випусками в 1864—1866 роках. Поява цього підручника мала величезне значення для поширення нового вчення серед хіміків. Книга здійснила справжню революцію в хімічній науці. У цьому виданні Бутлеров уперше послідовно провів теорію хімічної будови через всі відомі на той час класи органічних сполук, які поряд з його блискучими синтезами сприяли широкому визнанню й зміцненню вчення серед хіміків усього світу.

Новий етап у розвитку хімії розпочався з відкриттям органічного синтезу, і пов'язаний він з ім'ям француза Марселена Бертло (1827—1907). За фахом він скоріше був фізиком, але більшість з його 2800 наукових праць є працями з хімії (серед них є також книги з біології, агрохімії, історії, археології, лінгвістики, філософії, педагогіки). Бертло від самого початку своїх досліджень широко вірив у можливість синтезу органічних речовин без участі живих клітин. Першим його успіхом стало одержання камфори, але справжнє визнання прийшло до вченого в 1853 році, коли він синтезував жир. І ще не встигла стаття Бертло зробити сенсацію в науковому світі, як він поставив перед собою ще одне завдан-

Однак найважливішим у теорії Бутлерова було питання про можливість виражати формулами будо-



Марселен Бертло

За видатні досягнення в органічній хімії в 1867 році вдруге Бертло одержав нагороду «Жакер». Перша нагорода була присуджена йому в 1860 році за успіхи в галузі органічного синтезу.

ароматичні сполуки. Паралельно він здійснив ще один дослід і синтезував нафталін. Бертло бачив у синтезі нескінченні можливості і міг синтезувати, мабуть, усі речовини — треба було лише правильно сформулювати поставлене перед собою завдання.

Марселен Бертло вважав, що аналіз і синтез є двома складовими хімічної науки, і наголошував, що синтез став можливий саме завдяки успіхам аналізу, оскільки можна синтезувати тільки ті речовини, що аналітично розкладаються на складові, з яких вони знову можуть бути отримані, або повністю розкласти шляхом послідовного відщеплення елементів. У зв'язку з цим неможливість синтезувати на той час безліч природних речовин, таких як білки й алкалоїди, він пояснював тим, що вони ще недостатньо добре вивчені аналітично, тобто межа синтезу, за Бертло, визначається можливостями аналізу. Сьогодні синтез — основа промислової хімії. Досить назвати синтетичний каучук, синтетичне волокно, синтетичне паливо, синтетичні мийні засоби, щоб зрозуміти значення відкриття Бертло.

ня — одержати етиловий спирт із етилену й води. Для цього він вирішив пропускати етилен через водяний розчин кислоти, або основу, постійно змінюючи умови синтезу. Отриманий дистилят виявився *етиловим спиртом*.

У шістдесяті роки XIX століття Бертло досягнув у галузі органічного синтезу справді фантастичних результатів. Поразки не зупиняли його. Він наполегливо йшов до своєї мети. Так, коли реакцію взаємодії водню з вуглецем Бертло не зміг провести навіть у печах Девіля, він вдався до допомоги електрики. Натхненний успіхом, Бертло взявся за проведення нової серії синтезів. З'єднуючи водень з ацетиленом, він одержав етилен, згодом — етан і почав синтезувати бензол, знову вдавшись до високих температур. В отриманій рідині вчений виявив бензол, толуол й інші

Від відкриттів, що наснилися, — у XX століття

Слід зазначити, що відкриття якоїсь речовини не означало, що про неї все відомо. Так сталося, наприклад, і з бензолом, який тривалий час вважали за цілісну ароматичну речовину. І тільки через сорок років після відкриття бензолу, у 1865 році, Август Кекуле, який сформулював основні положення теорії валентності і здатності атомів до сполучання, вивів циклічну структуру формули бензолу. Кекуле знав, що атоми в молекулі взаємно впливають один на одного і властивості молекули залежать від їх розташування. Вчений уявляв собі вуглецеві ланцюги бензолу у вигляді

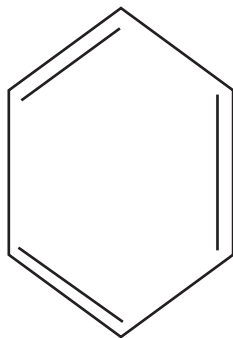
Деякі видатні відкриття в галузі хімії належать не тільки вченим-хімікам. Наприклад, Майкл Фарадей — геніальний самоучка, який став фундатором вчення про електричні та магнітні поля і збудував перший у світі електродвигун, — за основним фахом був фізиком. Але саме йому належить відкриття у 1825 році бензолу. Крім того, Фарадей вивів основні закони електролізу, що стали основою нової наукової галузі — електрохімії.

Проте уявити структуру бензолу він довго не міг, бо ніяк не міг збагнути, як саме розташовані шість вуглецевих і шість водневих атомів у його молекулі. Ці атоми навіть ввижалися йому уві сні, аж поки він не уявив, як шестиатомна «змія», що безупинно «звивалася», раптом укусила себе за хвіст і так завмерла. Дивний сон тривав лише мить, але атоми й молекули не зникали перед очима вченого навіть коли він прокинувся. Кекуле квапливо накреслив на аркуші паперу нову форму — першу кільцеву формулу бензолу.

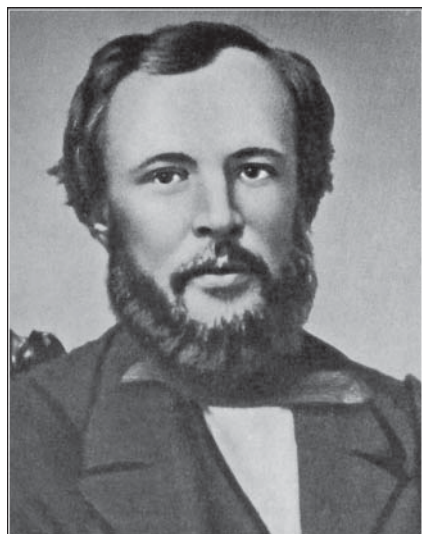
Відкриття *бензольного кільця* дало новий поштовх для експериментальних і теоретичних досліджень, а наука збагатилася на ще одну нову, дуже плідну теорію будови ароматичних сполук, з якої випливало, що атоми вуглецю в них розташовані симетрично (у кутах правильного шестикутника), і всі вони між собою рівноцінні.

Ще більш дивною є історія відкриття періодичного закону Менделєєва. В історії розвитку науки лише деякі відкриття можна зіставити з тим, що зробив Менделєєв, — найвизначніший хімік світу. Хоча від часів

змій. Вони звивалися, набували всіляких форм, віддавали або приєднували атоми, перетворюючись на нові сполуки. Кекуле мав велику здатність фантазувати, і, заплюсуючи очі, реально уявляв картину чудесних перетворень однієї молекули на іншу.



Бензольне кільце



Дмитро Іванович Менделєєв

відкриття його закону минуло багато років, ніхто досі не може сказати, коли до кінця можна буде збагнути все, що лягло в славнозвісну «таблицю Менделєєва». Про цю виняткову людину слід розповісти докладніше.

Дмитро Іванович Менделєєв (1834—1907) народився 27 січня в Тобольську й був останньою, сімнадцятою, дитиною у родині директора місцевої гімназії Івана Павловича Менделєєва. У рік його народження батько осліп і змушений був покинути службу, одержавши мізерну пенсію. Турбота про родину лягла на плечі матері,

Марії Дмитрівни, яка за дорученням свого брата керувала скляним заводом у селі Аремзянське. Тут Митя провів дошкільні роки й пішов у гімназію. Коли він закінчував гімназію, батько помер, а завод згорів. Мати вирішила переїхати до Москви, щоб син міг продовжити освіту в університеті. Однак випускники Тобольської гімназії мали право вчитися тільки в Казані. Лише в 1850 році Дмитро, завдяки клопотанню одного із друзів його батьків, був зарахований на природно-математичний факультет Петербурзького головного педагогічного інституту на казенне забезпечення.

Навчання Менделєєву спочатку давалося нелегко. На першому курсі по всіх предметах, крім математики, він мав незадовільні оцінки. Але потім ситуація докорінно змінилася — в 1855 році він закінчив інститут із золотою медаллю й одержав пропозицію продовжити навчання. Однак за станом здоров'я йому довелося переїхати на південь, де він викладав в Одеській гімназії при Рішельєвському ліцеї, але через рік все-таки повернувся в Петербург, здав магістерські іспити, захистив дисертацію і одержав право читати лекції з органічної хімії в університеті. Наступні кілька років минули в наукових закордонних відрядженнях, де приват-доцент Менделєєв зустрічався з іноземними колегами, брав участь у першому Міжнародному з'їзді хіміків. У ці роки він проводив дослідження в галузі капілярних явищ і розширення рідин, і одним із результатів його роботи стало відкриття температури абсолютного кипіння. Повернувшись на батьківщину в 1861 році, 27-літній учений за три місяці написав підручник «Ор-

Але це були важкі часи для Менделєєва, і він навіть записав у щоденнику, що «пальто й чоботи пошиті в борг, завжди хочеться їсти». Однак це не завадило йому захистити докторську дисертацію в 1865 році, після чого вчений став професором кафедри технічної хімії Санкт-Петербурзького університету.

Менделєєв ретельно вивчив опис властивостей усіх елементів і їхніх сполук. Ніякої системи розташування елементів не існувало. Тоді вчений зробив картонні картки. На кожну він заносив назву елемента, його атомну вагу, формули сполук і основні властивості. Поступово кошик наповнювався картками, що містили дані про всі відомі на той час елементи. Ка-

ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ЕЛЕМЕНТІВ Д. І. МЕНДЕЛЄЄВА

	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII																									
1	(H)												H		1	He	2																							
2	Li	3	Be	4	B	5	C	6	N	7	O	8	F	9	Ne	10																								
	6,941	литий	9,01218	бериллий	10,81	бор	12,011	углерод	14,0067	азот	15,999	кислород	18,999403	фтор	20,179	неон																								
3	Na	11	Mg	12	Al	13	Si	14	P	15	S	16	Cl	17	Ar	18																								
	22,98977	натрий	24,305	магний	26,98154	алюминий	28,0855	кремний	30,97376	фосфор	32,06	сера	35,453	хлор	39,948	аргон																								
4	K	19	Ca	20	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni																				
	39,0983	калий	40,08	кальций	оксиди	44,9559	титан	47,90	ванадий	50,9415	хром	51,996	марганец	54,9380	железо	55,847	кобальт	58,9332	никель	58,70																				
5	Rb	37	Sr	38	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd																				
	85,4678	рубидий	87,62	стронций	прил	88,9059	цирконий	91,22	ниобий	92,9064	молибден	95,94	технеций	[88]	рутений	101,07	родий	102,9055	паладий	106,4																				
6	Cs	55	Ba	56	57	*La	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt																				
	132,9054	цезий	137,33	барий	лантан	138,905	гафний	178,49	тантал	180,9479	вольфрам	183,85	рений	186,207	осмий	190,2	иридий	192,22	платина	195,09																				
7	Fr	87	Ra	88	89	**Ac	104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hn	109	Mt	110	Uun																				
	[223]	франций	226,0254	радий	актиний	227,0278	резерфордий	[261]	дубний	[262]	сиборгий	[263]	богрий	[264]	ганий	[265]	майтергий	[266]	унунгий																					
*Лантаноиды																																								
58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er																			
140,12																					140,9077	144,24	[145]	150,36	151,96	157,25	158,9254	162,50	164,9304	167,26	168,9342	173,04	174,967							
церий																					примесью	неодим	прометий	самарий	европий	гадолий	тербий	дисульфид	гольшей	эрбий	тм	ytterbium	люцидий							
**Актиноиды																																								
90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm																			
232,0381																					231,0369	238,029	237,0482	[244]	243	247	247	[251]	247	[251]	[252]	[257]	[261]	[265]	[269]	[273]	[277]	[281]	[285]	
торий																					периодический	уран	нептуний	плутоний	америций	куриум	берклий	калifornia	эйнштейний	фермий	мандельштам	нобелий	лоренс	гекбер	алберт	дэвисон	шварц	шварц	шварц	шварц

жуть, що свою періодичну таблицю елементів учений побачив уві сні і йому тільки залишалося записати її та обґрунтувати. У лютому 1869 року з'явилася таблиця за назвою «Дослідження системи елементів, заснованої на їхній атомній вазі й хімічній подібності», яка стала найвизначнішим відкриттям за всі роки існування хімії. Тобто було відкрито *періодичний закон*, сучасне формулювання якого таке: «Властивості простих речовин, а також форми й властивості сполук елементів перебувають у періодичній залежності від заряду ядер їхніх атомів». Менделєєву на той час виповнилося всього 35 років.

Слід зазначити, що незважаючи на те, що систематизування хімічних елементів Дмитру Івановичу наснилося, це відкриття, проте, він зробив не випадково. У його діяльності органічно поєдналися теорія й практика, знання фізичного боку явища, математична інтуїція й філософське осмислення. Крім того, Менделєєв умів критично ставитися до праць своїх попередників і сучасників і поступово зрозумів, що зі зміною атомної ваги міняються й властивості елементів. За простими рядами символів хімічних елементів учений побачив головний закон природи. Він відклав роботу над підручником «Основи хімії», припинив проводити досліди. Розподіл елементів у таблиці здавався йому недосконалим. На його думку, атомна вага в багатьох випадках була визначена неточно і тому деякі елементи не потрапили на ті місця, що відповідають їхнім властивостям. Взявши за основу періодичний закон, Менделєєв змінив атомну вагу цих елементів і поставив їх в один ряд з подібними за властивостями елементами.

У статті, що вийшла німецькою мовою в «Анналах», Менделєєв відвів велике місце для розділу «Застосування періодичного закону для визначення властивостей ще не відкритих елементів». Він передбачив і докладно описав властивості трьох ще не відомих науці елементів, які назвав ека-бор, ека-алюміній, ека-кремній. І вже у 1875 році французький хімік П. Е. Лекок де Буабодран сповістив про відкриття нового елемента, який він назвав галій. Виходячи з властивостей і атомної ваги цього елемента, він був «близнюком» ека-алюмінію. Імена Менделєєва й Лекока де Буабодрана відразу стали відомі всьому світу. Вчені, натхнені першим успіхом, почали шукати інші, ще не відкриті елементи, які були передбачені Менделєєвим. У десятках лабораторій Європи закипіла робота, сотні вчених мріяли про незвичайні відкриття.

І успіхи не забарилися. В 1879 році професор Ларе Фредерік Нільсон, що працював в Упсальському університеті у Швеції, відкрив новий елемент, що повністю відповідав описаному Менделєє-

Аргон — інертний газ, виділений в 1894 році з повітря англійськими вченими Дж. У. Релесм і У. Рамзаєм. Аргон не вступає у реакції з жодною речовиною, за що й одержав свою назву — від грецького негативного префікса «а» та «ергон» — справа, діяльність. В 1904 році хімік Рамзай за відкриття в атмосфері аргону й інших інертних газів одержав Нобелівську премію з хімії, а фізик Джон Вільям Стрет (лорд Релей) у тому ж році й, по суті, за те саме відкриття одержав Нобелівську премію з фізики. Напевно, це єдиний такий випадок. Поки що аргон підтверджує свою назву — досі не отримано жодної його стабільної сполуки.

Групи інертних газів, що дало можливість включити в систему «нульову» групу — «прикордонну» між лужними металами й металоїдами.

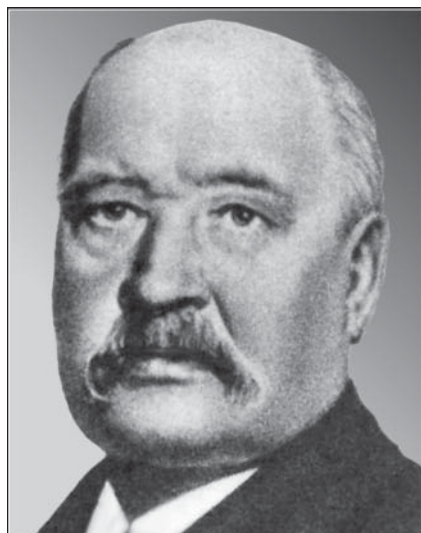
Менделєєв писав: «Мною були описані три елементи, і не минуло двадцяти років, як я мав уже найбільшу радість бачити всі три відкритими й такими, що отримали свої імена від тих трьох країн, де знайдені рідкісні мінерали, що їх містять, і де зроблено їхнє відкриття: галію, скандію й германію. Л. де Буабодрана, Нільсона й Вінклера, які їх відкрили, я, зі свого боку, вважаю щирими укріплювачами періодичного закону. Без них він не був би визнаний такою мірою, як це сталося нині...»

Сьогодні ж зрозумілим є те, що в менделєєвському відкритті злилися воедино три лінії розвитку хімії: пошуки систематики різних об'єктів хімії — від атомів до кристалів — у їхньому взаємозв'язку (поняття «хімічний елемент» їх об'єднало); вивчення індивідуальності кожного з елементів, що дало змогу розкрити поняття елемент-аналогії; вивчення взаємозв'язку властивостей зі сполукою й будовою сполук, що привело до формування цілісного вчення про періодичність.

Відтоді настала епоха хімічних наук, які робили такі карколомні успіхи, що Марселен Бертло в 1887 році навіть написав: «У Всесвіті більше не залишилося таємниць». Але славетний хімік помилявся. Залишалося всього кілька років до відкриття радіоактивності, елементарних частинок і... трансмутацій хімічних елементів у ході радіоактивних перетворень, а також нескінченної кількості відкриттів. Ми зупинимося на найвагоміших.

Наступним кроком у розвитку хімії стала теорія електролітичної дисоціації, яку в 1887 році створив шведський фізико-хімік

Сванте Арреніус. Нільсон назвав його скандієм. Повторний доказ передбачень Менделєєва став справжнім тріумфом вченого. Незабаром почали надходити повідомлення про обрання Менделєєва почесним членом різних європейських університетів і академій. Прекрасним підтвердженням менделєєвського закону стало й відкриття Рамзаєм гру-



Сванте Август Арреніус

За розробку теорії електролітичної дисоціації та за виняткові заслуги у створенні основ електрохімії і за її розвиток у 1903 році Арреніусу була присуджена Нобелівська премія.

електрони, він стає негативно зарядженим. *Іони* — це заряджені частинки — атоми або групи хімічно зв'язаних атомів — з нестачею (катіони) або надлишком (аніони) електронів. При електролізі позитивно заряджені іони рухаються до катода й тому їх називають катіонами. З тієї ж причини негативно заряджені іони,

Сванте Август Арреніус (1859—1927). Знання фізики дало йому змогу розкрити таємницю однієї з найважливіших проблем хімії: пояснити природу розчинів електролітів.

Ще наприкінці XVIII століття Г. Кавендіш виявив, що при розчині солі у воді електропровідність розчину підвищується. Арреніусу було якихось 28 років, коли його відкриття звело нанівець класичні засади хімії. Молодий хімік довів, що молекули *електролітів* (солі, кислоти, основи) розпадаються в розчині на електрично заряджені іони і пояснив це явище дисоціацією (розпадом) молекул кухонної солі на іони.

Атоми нейтральні. Але якщо атом втрачає один або кілька електронів, то він здобуває позитивний заряд, і, навпаки, якщо атом приєднує «зайві»

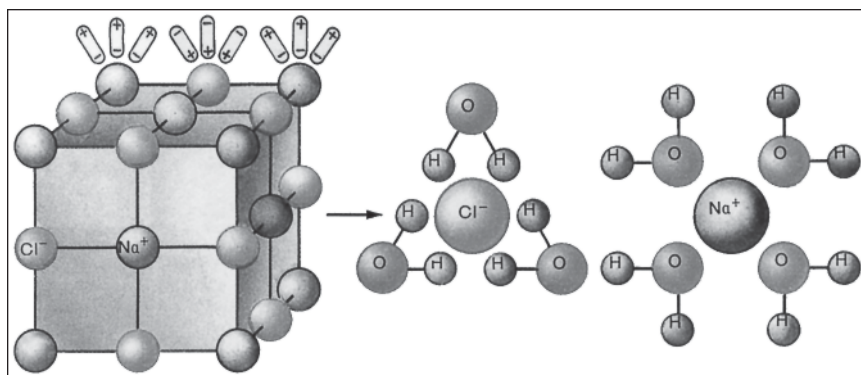


Схема розчинення кристала кухонної солі. Іони натрію і хлору в розчині



Вальтер Фрідріх Нернст



Вільгельм Фрідріх Оствальд

що рухаються до анода, називають аніонами. Іони утворюються в результаті різних хімічних реакцій, а також при розчиненні в полярних рідинах, наприклад воді, речовин з полярними зв'язками. Газу можна іонізувати, пропускаючи через них електрони з високою енергією. Іонізовані газу називають *плазмою*.

У 1888 році Вальтер Фрідріх Нернст (1864—1941), професор фізичної хімії в Геттінгені й Берліні, лауреат Нобелівської премії з хімії 1920 року за відкриття третього закону термодинаміки, порівнявши швидкість дифузії іонів зі швидкістю руху іонів при електролізі, показав, що ці числа збігаються. В 1889 році на основі теорії осмотичного тиску й теорії електролітичної дисоціації Нернст розробив осмотичну теорію виникнення гальванічного струму.

Продовжив теорію електролітичної дисоціації Вільгельм Фрідріх Оствальд (1853—1932). Проблеми теорії розчинів і електрохімії вийшли на перший план у науковій творчості Оствальда вже на початку його дослідницької діяльності. В 1885—1887 роках Оствальд опублікував двотомний «Підручник загальної хімії», де виклав основні положення вчення про іони і підкреслив значення фізичної хімії як самостійної науки. Поява цього підручника й «Журналу фізичної хімії» не тільки забезпечила самостійність нової наукової дисципліни, але й підготувала шлях проникнення фізики в усі сфери хімії.

У 1888 році Арреніус запропонував спосіб визначення основності кислот за величиною електропровідності їхніх розчинів і по-

казав, що швидкість хімічної реакції в розчинах залежить тільки від диссоційованої частини розчиненої речовини, тобто від концентрації іонів. Того ж року Оствальд вивів для бінарних слабких електролітів залежність, яку назвав законом розведення. Новий закон став основним для хімії водних розчинів. Надалі цей закон неодноразово піддавався перевірці. Було виявлено, що для сильних електролітів і концентрованих розчинів його не можна застосувати. Потрібні були численні дослідження вчених кінця XIX і початку XX століття, щоб пояснити причину непідпорядкування сильних електролітів закону розведення. Плодотворність теорії електролітичної дисоціації особливо яскраво виявилася в тому, що вона з успіхом була використана для пояснення механізму багатьох хімічних реакцій і природи різних сполук.

У 1889 році вчений, розглядаючи результати аналізів мінеральних вод, відкрив невідповідність цих даних теорії електролітичної дисоціації. Виходячи з того, що всі ці солі — електроліти, Оствальд гадав, що вони диссоціюються на іони. Це стало для нього приводом переглянути матеріал аналітичної хімії й створити навчальний посібник «Наукові засади аналітичної хімії» (1894), що відіграло значну роль у розвитку сучасної аналітичної хімії.

Теорія електролітичної дисоціації змогла об'єднати й теорію розчинів, і електрохімічну теорію. Як і припускав Арреніус, обидва потоки злилися в єдиний.

А тепер повернімося у 1835 рік, коли французький вчений Антуан Беккерель спостерігав улітку виняткову за красою фосфоресценцію Адріатичного моря.



Анрі Беккерель

Через 61 рік це явище «висвітлило» дорогу його онукові Анрі Беккерелю для відкриття ним *радіоактивності*. Його увагу привернули й рентгенівські промені, які також викликали фосфоресценцію різних речовин. Виникло припущення, що це явище, у свою чергу, супроводжується рентгенівським випромінюванням. Бажаючи перевірити це припущення, Беккерель дослідив подвійний сульфат уранілу й калію — дуже фосфоресцювальну сполуку. Виявилося, що й без попереднього освітлювання відбувається фосфоресцювання цієї спо-

луки, тобто свічення, природа якого була невідомою.

Ці спостереження Анрі Беккерель зробив 1 березня 1896 року. Через два місяці він з'ясував: відповідальним за випромінювання є елемент уран — на той час останній елемент періодичної системи хімічних елементів. Марія Склодовська-Кюрі (1867—1934) назвала ці промені радіоактивними, а саме явище випромінювання — радіоактивністю. Вона виявила це явище теоретично під час дослідження торію. Спільно із своїм чоловіком П'єром Кюрі Марія Склодовська-Кюрі виділила з уранових мінералів два



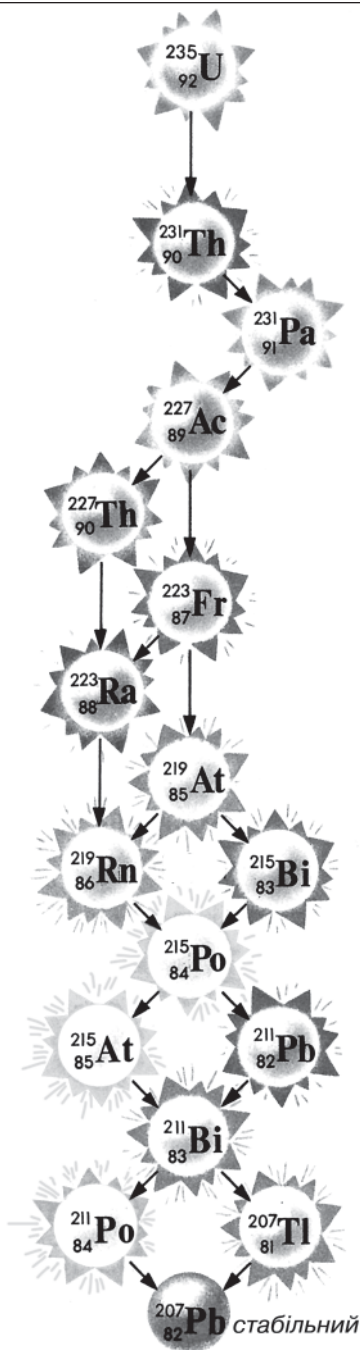
Марія Склодовська-Кюрі

нових радіоактивних елементи — полоній і радій. З 1899 року різні вчені почали виявляти все нові й нові радіоактивні речовини. Як правило, ці речовини мали дуже короткі періоди напіврозпаду (час, за який розпадається половина радіоактивної речовини), і тому вчені навіть сумнівалися, чи є ці речовини хімічними елементами у звичайному розумінні. Тим більше, що кількість вільних місць у періодичній системі між вісмутом і ураном було досить обмеженою.

Марія Склодовська-Кюрі була серед піонерів дослідження радіоактивності. За цю роботу вона разом із чоловіком П. Кюрі й першовідкривачем радіоактивності А. Беккерелем у 1903 році була визнана гідною Нобелівської премії з фізики. Через вісім років вона отримала другу Нобелівську премію, цього разу з хімії — «за відкриття елементів радію й полонію, за виявлення природи радію й виділення його в металевому вигляді». Так М. Склодовська-Кюрі стала першою жінкою, що була відзначена високою науковою нагородою, й першим ученим, що одержав її двічі. Виділення чистого металевого радію пізніше включили в число семи найбільших наукових досягнень першої чверті ХХ століття. Склодовська-Кюрі стала першою жінкою-професором. Вона була ініціатором створення в Парижі Інституту

Радіоактивні елементи — це такі хімічні елементи, всі ізотопи яких радіоактивні. Вони становлять приблизно четверту частину всіх відомих елементів.

радію. На жаль, Марія Склодовська-Кюрі померла від променевої хвороби. На той час



ще не знали про згубну силу радіоактивних елементів. І дотепер її лабораторні зошити мають високий рівень радіації.

Величезний внесок у вивчення радіоактивності зробив англійський фізик Ернест Резерфорд (1871—1937). Він разом з англійським радіохіміком Фредеріком Содді (1877—1956) відкрив, що радіоактивність супроводжується мимовільною перетворюваністю хімічних елементів. Наприклад, радій, випромінюючи альфа-частинку перетворюється на радон. До 1913 року всі радіоактивні речовини (близько сорока) були зведені в три радіоактивних сімейства, що являють собою ланцюжок послідовних перетворювань родоначальників родів (урану-238, урану-235 і торію-232) і стабільного свинцю. Серед радіоактивних речовин були відкриті кілька груп речовин, хімічно нерозрізнених, але різних за масою. Їх назвали ізотопами. Відкриття радіоактивних речовин фактично було відкриттям окремих природних радіоактивних ізотопів: адже всі члени радіоактивних сімейств є ізотопами урану, торію, протактинію, актинію, радію, радону, полонію, свинцю. Водночас усі стабільні елементи були спочатку відкриті як природні суміші.

За тим же принципом новому хімічному елементу була

дана назва нептуній. Однак незабаром з'ясувалося, що це був уже відкритий раніше ніобій. Про «лженептуній» забули майже на ціле століття, поки в продуктах опромінювання урану нейтронами не виявили новий елемент. І як у Сонячній системі за Ураном іде Нептун, так і в таблиці елементів за ураном (№ 92) з'явився нептуній (№ 93).

У 1930 році була відкрита дев'ята планета Сонячної системи, що її передбачив американський астроном Ловелл. Її назвали Плутон — за ім'ям давньогрецького бога підземного царства. Тому було логічно назвати наступний за нептунієм елемент плутонієм; він був отриманий у 1940 році в результаті бомбардування урану ядрами дейтерію.

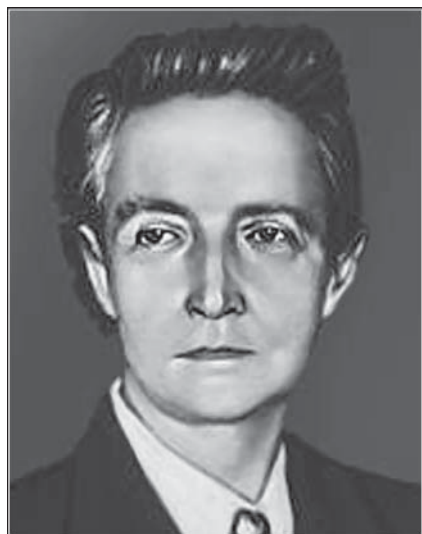
Відкрито було кілька видів радіоактивних перетворень. Це α -розпад (випромінювання α -частинок) і β -розпад (випромінювання електронів) і спонтанний розподіл ядер. Випускання γ -променів не є видом радіоактивного розпаду (при цьому не відбувається перетворення елементів), воно являє собою електромагнітне випромінювання хвиль малих довжин. Таке випромінювання спостерігається в природі.

У 1934 році подружжя Ірен і Фредерік Жоліо-Кюрі відкрили явище *штучної радіоактивності*, коли в результаті ядерних реакцій можуть бути штучно отримані штучні радіоактивні ізотопи всіх елементів періодичної системи. Їх відомо тепер близько 1800. Наприкінці 1983 року англійські фізики Г. Роуз і Г. Джонс виявили зовсім дивний вид радіоактивності — випромінювання ядрами ізотопу Ra-223 важких



Фредерік Содді

У 1781 році англійський астроном Фредерік Вільгельм Гершель відкрив нову планету, яку назвали Ураном — за ім'ям давньогрецького бога неба Урана, діда Зевса. В 1789 році М. Клапрот виділив з мінералу смоляної обманки чорну важку речовину, гадаючи, що то є метал, і, за традицією алхіміків, «прив'язав» його назву до недавно відкритої планети. А смоляну обманку він перейменував на уранову смолку (саме з нею працювало подружжя Кюрі). Лише через 52 роки з'ясувалося, що Клапрот одержав не сам уран, а його оксид UO_2 .



Ірен Жоліо-Кюрі



Фредерік Жоліо-Кюрі

частинок ядер $C-14$. Це відкриття довело, що крім «вуглецевої» радіоактивності існує й «неонова», тобто ядра деяких ізотопів протактинію й урану, крім звичайної, властивості їм α -активності, здатні випускати ядра неону. Новий вид радіоактивності називають «фрагментарним», або кластерним. Експерименти в цій галузі тривають, і теоретики поки ще не мають єдиної точки зору щодо пояснення цього рідкісного, але надзвичайно цікавого виду радіоактивного розпаду. Напевно, в арсеналі природи зберігається ще більше способів радіоактивного розпаду, ніж ми собі уявляємо на цей час.

Величини періодів напіврозпаду відомих радіоактивних ізотопів мають дуже широкий часовий інтервал — від тисячних часток секунди до мільярдів років. Однак більшість ізотопів характеризується періодами напіврозпаду від 30 до 10 днів.

Вивчення радіоактивності відіграло величезну роль у формуванні сучасних уявлень про будову й властивості світу.

Ще одне з найважливіших відкриттів ХХ століття було зроблене у 1903 році російським вченим професором Михайлом Семеновичем Цветом (1872—1919), що працював у ту пору лаборантом. Але тоді воно залишилося майже непоміченим, і незабаром про нього надовго забули. А доля цього відкриття була справді дивовижною. *Хроматографія* (так назвав своє відкриття професор Цвет) стала в наші дні незамінним методом розподілу й аналізу в багатьох галузях науки й техніки. Без неї були б неможливі досягнення біохімії, що досягла надзвичайно складну будову й склад

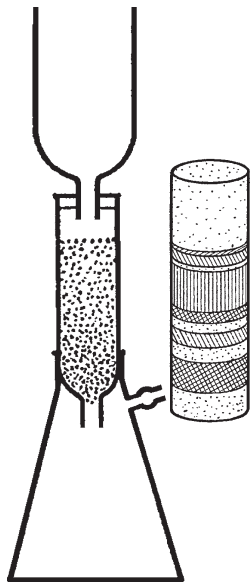
білкових сполук. Без хроматографії не можна було б успішно синтезувати велику кількість трансуранових елементів періодичної системи Менделєєва. Методами хроматографії розділяють й очищають лікарські речовини, антибіотики, вітаміни, алкалоїди, гормони. Хроматографія широко застосовується при пошуках нафтових родовищ. Вона конче потрібна хіміку-органіку, що вивчає будову й склад найскладніших органічних сполук. Іншими методами неможливо визначити склад і природу ізомерів. За допомогою хроматографії можна детально дослідити деякі хімічні властивості багатьох рідкісноземельних елементів.

Не слід думати, що хроматографічні явища використовуються тільки вченими в лабораторіях або інженерами на заводах: вони становлять основу багатьох гігантських геохімічних процесів, наприклад утворення ґрунту й багатьох рудних родовищ.

Відкриття М. С. Цвета було на диво простим, таким простим, що його міг би зробити будь-який школяр, що має допитливий розум і вміє бачити, помічати незвичайне в простому. Цвет цікавився природою хлорофілу, від якого залежить забарвлення листя. Роль цієї речовини в природі величезна: з допомогою хлорофілу в зеленому живому листі відбувається перетворення світлової енергії сонця на хімічну енергію органічних сполук. Професор Цвет насипав у скляну трубку тонко подрібнений порошок чистої крейди, змочив його бензолом, налив зверху трошки розчину хлорофілу, витягнутого із зеленого листа (верхній шар порошку, звичайно, відразу забарвився в зелений колір), і став повільно, по краплях промивати бензолом трубочку із крейдою. У міру того як верхній зелений шар промивався бензолом, забарвлення слідом за розчинником почало пересуватися у вигляді зеленого кільця вниз по трубці. Потім (у цьому-то й полягало чудове відкриття Цвета) зелене кільце стало поступово розділятися на кілька окремих кілець; учений виявив вузьку жовту смужку, вона рухалася по трубці найповільніше, її випередила жовто-зелена смуга, попереду якої йшла широка зелено-синя смуга, перед нею дві жовті й аж унизу рухалася ще одна смуга, теж жовтого кольо-



Михайло Семенович Цвет



*Хроматографічна
установка Цвета*

ру. Ретельний аналіз показав, що над верхньою жовтою смужкою розташовувалася ще одна — безбарвна.

Цей простий дослід, з одного боку, поклав початок розгадці великої таємниці зеленого листа: було доведено, що хлорофіл у листі рослини складний, що він складається з декількох близьких між собою, але різних хімічних сполук. З іншого боку, цей простий дослід ліг в основу нової галузі науки. Ось як образно розповів про своє відкриття сам автор: «Подібно до світлових променів у спектрі, різні компоненти складного пігменту закономірно розташовуються один за одним у стовпі сорбенту й стають доступними якісному й кількісному дослідженню. Такий розцвічений препарат я назвав хроматограмою, а відповідний метод аналізу — хроматографічним методом».

Хроматографія — скромна трудівниця. Головне її завдання — допомагати іншим галузям науки. У наші дні вже всі галузі природознавства вдаються до точних, швидких і винятково чутливих хроматографічних методів. Як аналітичний метод хроматографія далеко випередила всі інші методи фізико-хімічного аналізу. Навіть спектральний аналіз і той уже відстає тепер за своєю чутливістю від газової хроматографії. Без неї була б неможлива велика перемога фізики і ядерної хімії — синтез і виділення в чистому вигляді нових штучних елементів. Методом іонообмінної хроматографії була виявлена присутність одного атома нового елемента. І в інших галузях науки, наприклад при визначенні органічних сполук, досягнення хроматографії зовсім недавно здалися б чудом; хіміки можуть тепер упевнено виявляти деякі речовини, навіть якщо вони присутні в кількості, що не перевищує тисячі молекул у кубічному сантиметрі.

Хроматографія допомагає хімікам збагнути найтонші відмінності хімічних властивостей близьких за будовою молекул. Тільки хроматографія дала змогу одночасно визначати речовини в одній пробі, що не перевищує тисячної частки грама. За допомогою цього методу можна виявити одночасну присутність понад сотні різних найскладніших хімічних сполук. І хімік може кожну з них виділити в чистому вигляді, не руйнуючи й не змінюючи її.

Ці чудові можливості хроматографії допомагають біохімікам стежити за швидкими й складними перетвореннями речовин у живих організмах, вивчати механізм незліченних і найскладніших хіміч-



Сучасний хроматограф

них перетворень, що відбуваються в них. Таким чином, було розпочато штурм найбільшої з таємниць природи — таємниці Життя.

Хімія в Книзі рекордів Гіннеса

- найпоширеніший елемент у літосфері — кисень (46,60 % за масою);
- найпоширеніший елемент в атмосфері — азот (78,09 %);
- найпоширеніший елемент поза Землею — водень (90 %);
- найрідкісніший елемент — аstat (0,16 грамів у земній корі);
- найважча з газоподібних речовин — речовина радон (10,05 г/л при 0 °C), а найлегша — водень (0,08929 г/л);
- найдорожчий зі штучно створених елементів — каліфорній (10 доларів за 0,001 мг);
- ізоtop, що має найтриваліше життя, — ^{128}Te (період напіврозпаду теллура $1,5 \cdot 10^{24}$ років);
- найковкіший метал — золото (з 1 грама можна витягнути дріт довжиною 2,4 км);
- найтугоплавкіший метал — вольфрам (температура плавлення 3420 °C);
- найсмердючіші сполуки — етилмеркаптан $\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$ і бутилселеномеркаптан $\text{C}_4\text{H}_9\text{SeH}$. Їхній запах нагадує комбінацію запахів гнилої капусти, часнику, цибулі й нечистот одночасно;

- найсильніша нервова отрута — газ VX, що в 300 разів токсичніший за фосген;
- найотруйніша з усіх синтезованих сполук — TCDD (2,3,7, *n*-діоксин), вона в 150 000 разів токсичніша за ціанід калію;
- найсильніший анальгетик — речовина R33799, що за своєю дією нагадує морфін, але в 12 000 разів сильніша за нього;
- найдорожча речовина — інтерферон (10^{-6} мкг коштує 10 доларів);
- гальванічний елемент, що проіснував довше за всі інші — сірчано-цинкова батарея, виготовлена в Лондоні в 1840 році. Підключений до неї дзвінок працює й донині в Кларендонській лабораторії в Оксфорді (Англія).

V

НАУКА ПРО ЖИТТЯ





Біологією називається сукупність наук про живу природу. Термін «біологія» походить від грецьких слів *bios* — життя й *logos* — наука, і вивчає біологія всі прояви життя, будову й функції живих істот і їхніх угруповань, поширення, походження й розвиток живих організмів, їхній зв'язок одного з одним і з неживою природою. В останні десятиліття в біології активно застосовуються поняття й методи фізики й хімії. Тому поряд з такими суто біологічними науками, як ботаніка — наука про рослини, зоологія — наука про тварин, мікробіологія — наука про мікроорганізми, анатомія і фізіологія людини, генетика — наука про закони спадковості й мінливості організмів, до системи наук, що в цілому становлять біологію, увійшли біофізика, біохімія, молекулярна біологія. Майже впритул до біології підійшла й медицина, з якої взагалі й починалася ця наука, бо як писав відомий фізіолог, фундатор вчення про вищу нервову діяльність І. П. Павлов, «медична діяльність — ровесниця першої людини».

Життя та його походження

Об'єктом вивчення біології є жива природа, у зв'язку з чим виникає питання: що слід розуміти під словом «життя». Загальною відповіддю може бути така: життя є однією з форм існування матерії. Однак більшість учених під поняттям «життя» мають на увазі процес існування складних систем, цеглинками якої є великі органічні молекули, що здатні самовідтворюватися й підтримувати своє існування внаслідок обміну енергією й речовиною з навколишнім середовищем. За сучасними уявленнями вік Землі, як і всієї Сонячної системи становить близько 4,6 мільярда років, тому життя напевне не старше цього терміну. Існує, щоправда, давня гіпотеза про те, що життя має неземне походження й що занесене воно на Землю ззовні, з космосу, однак доказів цього немає. Крім того, те життя, про яке ми знаємо, чудово пристосоване до життя на Землі.



Олександр Іванович Опарін

совано для існування в земних умовах, і якщо воно виникло поза Землею, то це сталося на планеті земного типу. (Тільки людина постійно перебудовує природу під свої запити.) Тому звичайно при вивченні походження життя виходять із тих умов, які існували на тільки-но сформованій Землі.

Ще Чарлз Дарвін зрозумів, що життя може виникнути тільки... при відсутності життя. Всюдисущі мікроорганізми, що поширені сьогодні на Землі, «з'їли» б усі органічні речовини, що виникають. Це перша умова, за якої може виникнути життя і тому виникнення жит-

тя у звичних нам умовах неможливе.

Друга умова виникнення життя — відсутність вільного кисню в атмосфері. Це важливе відкриття зробили незалежно один від одного радянський біохімік, творець матеріалістичної гіпотези виникнення життя на Землі Олександр Іванович Опарін (1894—1980) у 1924 році й англійський біолог і біохімік Джон Холдейн (1892—1964) у 1929 році. Первинна атмосфера Землі складалася з парів води, вуглекислого газу, водню, азоту й аміаку, можливо, з добавкою синильної кислоти, яку виявили астрономи у хвостах комет. Тому органічні речовини, що виникали на поверхні Землі, могли накопичуватися, не окиснюючись. Нині ж на нашій планеті вони накопичуються тільки в безкисневих умовах, — так утворюються торф, кам'яне вугілля й нафта. Холдейну й Опаріну належить і відкриття значення ультрафіолетового випромінювання для утворення складних органічних сполук в процесі виникнення життя. Експериментальне підтвердження цього відкриття зробив американський біохімік Стенлі Міллер і фізикохімік Гарольд Юрі. Вони у 1953 році довели можливість штучного синтезу амінокислот з аміаку, метану, водяних парів й водню в умовах, які подібні до тих, що були на земній поверхні після утворення нашої планети. Міллер вважав, що синтез амінокислот міг розпочатися в умовах первинної атмосфери Землі під впливом електричних розрядів і ультрафіолетового випромінювання. Його висновки дослідним шляхом підтвердили в 1957 році радянські біофізики Т. Є. Павловська й А. Г. Пасинський.

Першу ж амінокислоту — гліцин — відкрив американський біолог і фізіолог Жак Льоб (1859—1924) у 1912 році. Він проводив досліди і отримав із суміші газів під впливом електричних розрядів, що імітували блискавку, найпростіший компонент білка — гліцин. Можливо, що крім нього дослідник отримав й інші амінокислоти, але на той час ще не було методів, які б дали змогу визначити їхні надмалі кількості. Відкриття Льоба не помітиди, то ж перший *абіогенний синтез* органічних сполук (тобто такий, що йде без участі живих організмів) з випадкових сумішів газів, як



Жак Льоб

уже про це йшлося, зробили Міллер і Юрі. Вони отримали десятки органічних речовин, серед яких — мурашина, оцтова та яблучна кислоти, їхні альдегіди, а також амінокислоти. Їх досліди були багато разів перевірені на сумішах різних газів і при різних джерелах енергії (сонячне світло, ультрафіолет, радіаційне випромінювання і просто тепло) і органічні речовини виникали в усіх випадках.

Однак за останніми відомостями найпростіші органічні речовини можуть виникнути навіть у космічному просторі при температурі, близькій до абсолютного нуля. Тому існує можливість, що абіогенні органічні речовини Земля могла отримати у «спадок» при своєму утворенні. В будь-якому разі всі водойми планети, і насамперед океан, перетворилися на «первинний бульйон» — складний розчин органічних речовин, яким навіть могли жити-ся анаеробні бактерії, які здатні жити за відсутності кисню. Окрім амінокислот у «бульйоні» були присутні й попередники нуклеїнових кислот.

І все ж таки низькомолекулярні органічні речовини — це ще не життя. Основу життя становлять біополімери — довгі молекули

Нуклеїнові кислоти відкрив у 1869 році швейцарський лікар Йоганн Фредерік Мішер (1844—1895). Нуклеїнові кислоти виконують, як було встановлено згодом, функції збереження і передачі генетичної інформації.

білків та нуклеїнових кислот, що складаються з ланцюжків — амінокислот і нуклеотидів. Однак відомо, що біополімери не могли виникнути са-

мостійно у «первинному бульйоні». На думку вчених, первинний синтез біополімерів мав іти під час заморожування «бульйону» чи при нагріванні його сухого залишку. Так, американський дослідник С. У. Фокс, нагріваючи до 130 °С суху суміш амінокислот, відкрив, що в цьому разі відбувається реакція полімеризації (вода, що виділяється, випаровується) і утворюються штучні, подібні до білків, протеноїди, що мають до 200 і більше амінокислот у ланцюжку. Розчинені у воді, вони набувають властивостей білків і тоді виконують роль живильного середовища для бактерій. Можливо, вони виникли в добіологічну епоху на розпечених схилах вулканів, а згодом дощі змивали їх у «первинний бульйон». Але існує думка, що синтез біополімерів відбувався безпосередньо в первинній атмосфері і у вигляді часточок пилу вони випадали в океан.

Наступним етапом виникнення життя, за Опаріним, стала протоклітина, з якої і сформувався первинний ген, що був здатним каталізувати виникнення першого білка. У примітивних протоклітинах виник механізм спадковості. Саме на цій стадії включився процес природного відбору. Останній етап виникнення життя — поява рибосом і транспортних РНК, генетичного коду і енергетичного механізму клітини з використання АТФ*. (Детальніше про це йтиметься в наступних розділах.) Можливо, що й нині існують такі протоклітини на якійсь із планет, але на Землі в природному стані їх не знайти. Поки що можна твердити, що для виникнення життя в земному варіанті знадобилося відносно мало часу — менш ніж один мільярд років. Уже 3,8 мільярда років тому існували перші мікроорганізми, від яких виникло все різноманіття форм земного життя — від мікроорганізмів і рослин до людини.

Ще у XVIII столітті, коли біологічні науки перебували в зародку, вже накопичилося чимало знань про природу. Величезна несистематизована кількість матеріалів щодалі більше ускладнювала дослідження, а в описовій зоології й ботаніці панувало повне безладдя. Причиною цього була відсутність зрозумілих і точних методів дослідження. Два головних недоліки гальмували подальший розвиток їх і призводили до нескінченної плутанини: відсутність точних описів і позначень різних видів, з одного боку, і невміла й неправильна класифікація — з другого. Наприкінці XVII століття Джон Рей та Жозеф Піттон де Турнефор зробили кілька спроб навести лад у розподілі рослин та тварин, але ці спроби були недостатньо успішними, бо основою розподілу частіше всього ставала будова одного якогось органа, наприклад плода чи квітки. Ці ос-

* АТФ — адезинтрифосфорна кислота.

новні недоліки систематичної ботаніки та зоології були виправлені генієм Карла Ліннея.

Шлях, що привів шведського натураліста Карла Ліннея (1707—1778) до світової слави, був довгим і нелегким. Він закінчив університет в Упсалі, де в студентські роки займався улюбленою справою — збирав гербарій і прагнув розібратися в усьому різноманітті квіток, особливо щодо кількості й розташування їхніх тичинок і маточок. Ще будучи студентом і пізніше, працюючи лікарем, Лінней намагався систематизувати все різноманіття органічного світу. У 1735 році



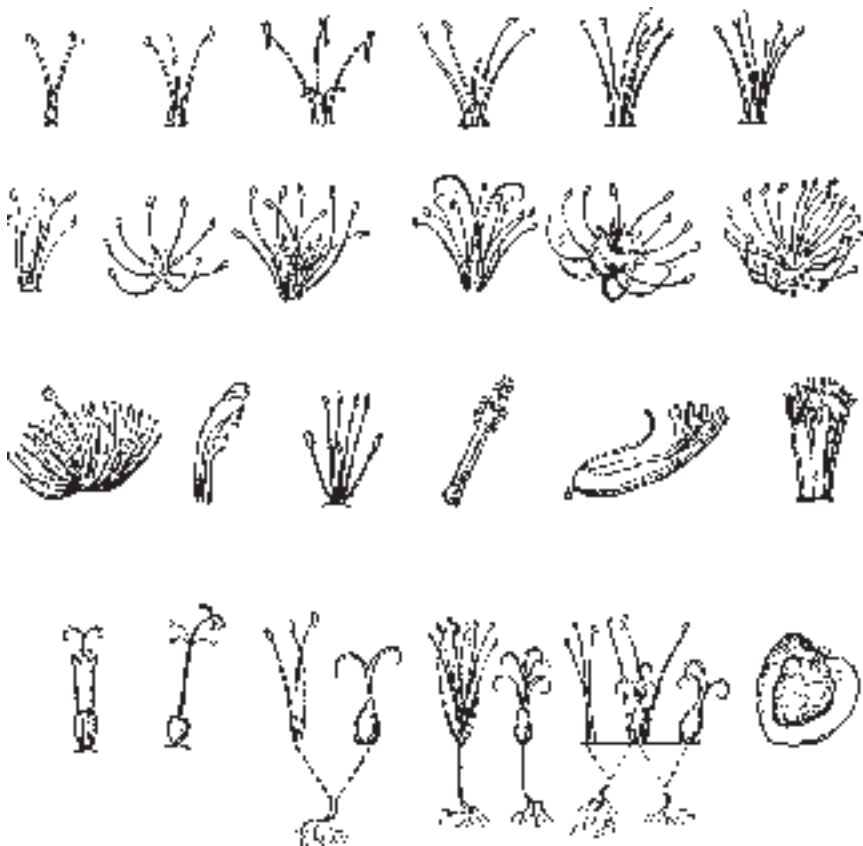
Карл Лінней

вийшла його головна праця «Система природи», де вперше були класифіковані три виокремлених ним царства: рослинний світ, тваринний світ і царство мінералів. Ще за життя вченого вона витримала дванадцять видань.

В основу класифікації вищих рослин Лінней поклав кількість, величину й розташування тичинок і маточок квітки, а також одно-, дво- або багатодомність рослин. Рослини він розбив на 24 класи, 13 з яких визначаються кількістю тичинок, сім — їхнім розташуванням і довжиною, потім ідуть класи одностатевих, двостатевих і безквіткових (спорових) рослин. Головне у відкритій Ліннеем системі — органи розмноження. Завдяки йому види дістали чіткі характеристики й назви.

Одна з головних заслуг Ліннея полягає в тому, що він увів у вживання так звану бінарну номенклатуру, за якою кожен вид рослин і тварин позначаються двома латинськими назвами — родовим і видовим. Так, наприклад, родова назва смородини буде *Ribes*. Окремі ж види цього роду позначаються шляхом додавання видових назв до родового. Так, червона смородина буде *Ribes rubrum*, чорна — *Ribes nigrum*. Агрус же такий близький до цих чагарників, що зараховується до того ж роду й називається *Ribes grossularia*.

Учений визначив чітку супідрядність між систематичними категоріями: класом, родиною, родом, видом. Однак класифікація Ліннея, як рослин, так і тварин, була штучною і, як правило, не відбивала спорідненості між близькими формами. Всіх тварин



Схематичне зображення 24 класів Ліннеєвої системи рослин

він розділив на шість класів: ссавці, птахи, амфібії, риби, хробаки й комахи. Так, до хробаків були віднесені й інфузорії, і амеби, й коловертки — всі організми, яким не знайшлося належного їм місця. Однак важливо те, що Лінней виокремив у вищий клас тварин ссавців, до якого відніс тих тварин, що мають молочні залози. Сюди він включив і людину, яку вніс до розряду приматів.

Другою помилкою Ліннея було те, що він вважав, що кількість видів є постійною від часу їхнього створення, і гадав, що завдання систематики полягає в розкритті порядку в природі, встановленого Творцем. Лише в останніх виданнях «Системи природи» він припускав природне походження деяких близьких видів у межах одного роду.

Карл Лінней не відкрив нових галузей знання й не відомих на той час законів природи, але він створив новий метод, зрозумілий і логічний, і за його допомогою привів до ладу те, де досі панувало

безладдя. Цим він дав величезний поштовх науці, проклавши дорогу для подальших досліджень і відкриттів. Величезна кількість органічних форм за допомогою методів, створених Ліннеєм, піддалася швидкій розробці й легко могла бути приведена в систему, зручну для вивчення. Це був необхідний крок у науці, без якого був би неможливий подальший прогрес. Тож створена Ліннеєм система рослинного й тваринного світу завершила величезну працю ботаніків і зоологів першої половини XVIII століття.

Англієць Джозеф Прістлі (1733—1804) пішов далі та дослідним шляхом відкрив, що рослини виділяють кисень. Трохи пізніше швейцарський вчений Ж. Сенеб'є встановив, що рослини під дією сонячного світла засвоюють вуглекислий газ й виділяють кисень. Це були перші кроки на шляху дослідження центральної ролі рослин у перетворенні речовин та енергії у біосфері землі, перший крок у новій науці — *фізіології рослин*. А. Лавуаз'є та інші французькі вчені дослідили роль кисню в диханні тварин та утворенні тваринного тепла. У кінці XVIII століття італійський фізик Л. Гальвані відкрив «тваринну електрику», що в подальшому привело до розвитку електрофізіології. Водночас італійський біолог Л. Спалланцані дослідним шляхом довів, неможливість самозародження організмів.

На межі XVIII—XIX століть виникла *палеонтологія* — наука, що вивчає викопні залишки тварин і рослин — свідчення послідовної зміни — еволюції форм життя в історії землі. Її основоположником був французький учений Жорж Кюв'є, який в 1796 році опублікував свою роботу про мамонтів — вимерлий вид тварин.

Великого розвитку набула *ембріологія* — наука про зародковий розвиток організму. Ще в XVII столітті У. Гарвей сформулював положення: «Все живе з яйця». Однак рішучий поворот в ембріології відбувся тільки наприкінці наступного століття завдяки працям молодого німецького вченого, а пізніше академіка Російської Академії наук Каспара Фрідріха Вольфа (1734—1794), автора славнозвісної праці, що поклала початок теорії *епігенезу*, тобто поступового утворення органів



Христіан Іванович Пандер



Карл Максимович Бер

Маленький Карл Бер рано зацікавився різними предметами природи й нерідко приносив додому якісь скам'янілості, равликів і подібні речі. Семирічним хлопчиком Бер не тільки не вмів читати, але й не знав жодної букви. Згодом він дуже був задоволений тим, що «не належав до тих феноменальних дітей, які через честолюбство батьків були позбавлені світлих років дитинства».

ембріологів завдяки доступності матеріалу й розміру яйця. Бер тоді ще коливався у виборі кар'єри, а робота вимагала великої витрати часу й грошей. Тому він умовив узятися за цю роботу свого приятеля Пандера, а сам розпочав досліди лише після того, як прочитав працю Пандера і нічого з неї не зрозумів.

Через деякий час Бер завдяки своїй широкій порівняльно-анатомічній підготовці зробив висновок, що «тип керує розвитком, зародок розвивається, ідучи за тим основним планом, за яким влаштоване тіло організмів даного класу». Він звернувся до інших хребетних тварин і в розвитку їх знайшов блискуче тому підтвердження. Дослідивши розвиток тварин інших типів, Бер побачив, що й там у кожному типі є свій ранг, що виражається порядком, і свій спосіб розвитку.

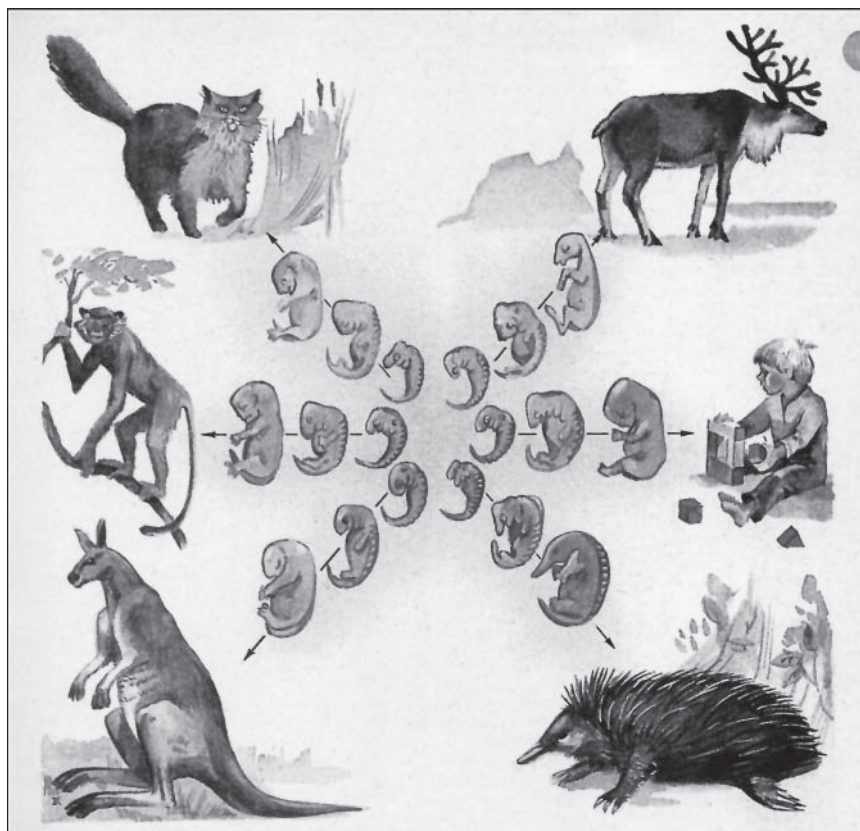
зародка з первісно простої (за Вольфом навіть неорганізованої) основи. Твір цей позначає собою епоху в ембріології, але він не був гідно оцінений і його забули на довгі роки. Вольф також заклав підвалини й теорії зародкових шарів, або листків, показавши, що зародок складається із шарів, кожен з яких йде на розвиток відомих органів.

У 1817 році російський ембріолог Христіан Іванович Пандер (1794—1865), який вивчав розвиток курчати, опублікував своє дослідження, що містило багато цінних даних і підтвердило теорію Вольфа про епігенез і про зародкові шари. Але праці Пандера і Вольфа не зрозуміли сучасники. Не зрозумів її і той, хто по праву вважається засновником ембріології — російський природознавець Карл Максимович Бер (1792—1876), який мріяв стати лікарем.

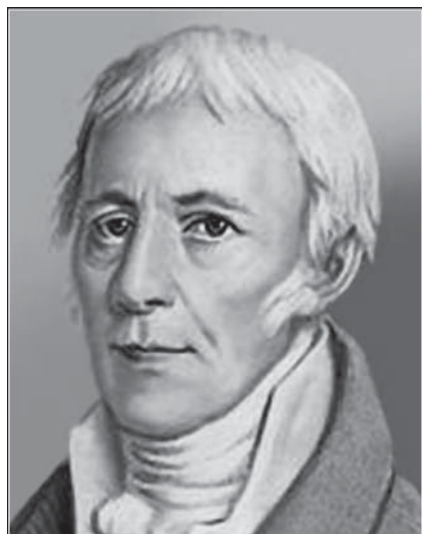
Коли Бер у 1815 році працював у Вюрцбурзі у Деллінгера, той запропонував йому провести дослідження розвитку курчати — класичного об'єкта

У 1828 році вийшла знаменита праця Бера «Історія розвитку тварин», значення якої полягає не тільки у виразному з'ясуванні основних ембріологічних процесів, але й, головним чином, у геніальних висновках. Відомий зоолог Бальфур говорить, що всі дослідження з ембріології хребетних, які були проведені після Бера, можна вважати доповненнями й виправленнями до його праці, бо в них нема нічого настільки нового й важливого, як результати, що їх здобув Бер. Висновки Бера полягають у кількох положеннях, в першому з яких йдеться про те, що всякий розвиток є перетворенням чогось, що існувало раніше. Так, наприклад, легені виникають як випинання первісно простої травної трубки; око — як виріст мозкового пузира; слуховий лабіринт утворився як поглиблення шкіри, що відходить від неї у вигляді мішечка, і так далі.

Таким чином, Бер відкрив важливий закон розвитку: в зародку з'являються спершу загальні основи, і з них виокремлюються



Зображення закону зародкової подібності



*Жан Батіст де Моне
шевальє де Ламарк*

Жан Батіст де Моне шевальє де Ламарк (1744—1829) за рішенням батьків повинен був стати священиком. Але він вступив добровольцем у діючу армію й дослужився до офіцерського звання. Після закінчення бойових дій Ламарк почав учитися медицині, потім працював в одному з банкірських домів, на дозвіллі вивчаючи ботаніку. Він швидко набув великого авторитету у цій науці й був призначений головним ботаніком французького короля. Коли йому було під п'ятдесят, Королівський ботанічний сад був перетворений на Музей природничої історії, і Ламарку запропонували зайнятися зоологією. Через десять років він знав про тварин і рослини майже все, що було відомо тогочасній науці.

як з'явилися тварини й рослини, як вони змінювалися й розвивалися і як набули сучасного вигляду. Говорячи мовою науки, він

щодалі більш спеціальні частини. Цей процес поступового руху від загального до спеціального відомий нині під назвою *диференціації*. З'ясувавши цей принцип, Бер раз і назавжди поклав кінець теорії передутворення, або еволюції, і забезпечив остаточне торжество Вольфового принципу епігенезу.

Учений зумів також продемонструвати єдність плану будови зародків різних класів хребетних, і це привело його до найважливішого узагальнення — «закону зародкової подібності». Бер твердив, що зародки різних видів, що належать до одного типу, більш подібні між собою, ніж дорослі тварини, і видових розходжень вони набувають у процесі розвитку: спочатку з'являються риси типу, потім класу тощо.

Новий, найважливіший етап у розвитку ембріології почався після виходу у світ книги Чарлза Дарвіна «Походження видів». Звернувшись до ембріології для підтвердження своєї теорії природного добору, він запропонував як гіпотезу еволюційне тлумачення порівняльних рядів Бера. Однак слід зазначити, що першу цілісну концепцію еволюції — походження видів тварин і рослин внаслідок їхньої поступової зміни від покоління до покоління — запропонував Ж. Б. Ламарк.

Ламарк вирішив написати книгу, в якій задумав показати,

захотів показати, що тварини й рослини не були створені такими, якими вони є нині, а розвивалися за природними законами, тобто показати еволюцію органічного світу. Це було нелегке завдання. Лише деякі вчені, філософи-трансформісти, до Ламарка висловлювали здогадку про змінюваність видів, однак ще не мали цілісної й послідовної концепції еволюції. Тільки Ламарк з його величезним запасом знань зміг виконати це завдання, тому саме його заслужено вважають творцем першої еволюційної теорії.

Свою революційну книгу «Філософія зоології» Ламарк надрукував у 1809 році. Однак одні вчені не звернули на неї ніякої уваги, інші ж посміялися над нею.

Смисл теорії Ламарка полягає в тому, що тварини й рослини не завжди були такими, якими є тепер. Колись давно вони були влаштовані інакше, набагато простіше. Життя на Землі виникло природним шляхом у вигляді дуже простих організмів. З часом вони поступово змінювалися, вдосконалювалися, поки не набули сучасного вигляду. Таким чином, усі живі істоти походять від не схожих на них предків, які були більш простішими й примітивнішими.

Спочатку Ламарк навів лише два основних закони еволюції, але, вдосконалюючи й уточнюючи свою теорію, він у «Природній історії безхребетних» дав нову, розширену редакцію своїх законів.

1. Життя з властивими йому силами прагне безупинно збільшувати обсяг усіх своїх тіл і розширювати їх розміри до меж, установлених ним.
2. Утворення нового органа в тілі тварини походить від нової відчутної потреби, що з'явилася, від нового руху, який ця потреба породжує й підтримує.
3. Розвиток органів і сила їхньої дії завжди залежить від використання цих органів.
4. Усе, що надбано, відмічено або змінене в організації індивідумів протягом їхнього життя, зберігається шляхом генерації й передається новим видам, які походять від тих, хто зазнав цієї зміни.

Учений гадав, що історичний розвиток організмів має не випадковий, а закономірний характер, і відбувається в напрямку поступового й неухильного вдосконалювання, підвищення загального рівня організації, який Ламарк назвав градацією. Рушійною силою градацій він вважав «прагнення природи до прогресу», споконвічно властиве всім організмам, бо це закладено в них Творцем.

І хоча сучасники вважали міркування Ламарка суперечливими й хибними й не прийняли його теорію, однак деякі його ідеї



Приклади гомології в будові скелета передньої кінцівки хребтових

натураліст (без жалування) на військовому кораблі «Бігль» у кругосвітню подорож. Під час подорожі Дарвін більшу частину часу проводив геологічні дослідження. На Галапагосах увагу молодого вченого привернула подібність флори й фауни цих островів до материкових. Він зібрав численні дані про мінливість організмів. Після повернення до Англії Дарвін почав вивчати практику розведення голубів і свійських тварин, що привело його до створення концепції штучного добору.

Одночасно вчений звернув увагу на трактат священника Т. Р. Мальтуса про народонаселення, який показував, до чого міг би призвести ріст населення нашої планети, коли б він нічим не стримувався (боротьбою за існування, загибеллю одних і виживанням інших). Дарвін поширив ці судження на біологічні процеси, наголосивши на тому, що в умовах постійного розмноження організмів, чисельність окремих груп (популяцій) залишається стабільною. Зіставляючи величезну кількість даних, дослідник відкрив, що будь-які зміни, сприятливі для виживання в певних умовах,

дотепер привертають увагу вчених і навіть започаткували кілька неоламаркістських концепцій.

Найвизначнішою подією XIX століття стало еволюційне вчення Чарлза Дарвіна, що суттєво вплинуло на подальший розвиток біології.

Англійський натураліст Чарлз Дарвін (1809—1882), з ім'ям якого пов'язаний переворот у біології, народився в сім'ї заможного лікаря й здобув спочатку медичну, а потім богословську освіту. Але його душа не лежала ні до медицини, ні до богослужіння. В 1831 році він пристав на пропозицію вирушити як

підвищують здатність особин розмножуватися й давати плідне потомство; при несприятливих змінах, навпаки, шанси на успішне розмноження знижуються. Основні ідеї Дарвін уже намітив у записних книжках, що належать до 1837—1838 років, а перший начерк теорії був викладений у 1842 році. До 1844 року всі аргументи про походження видів шляхом природного відбору були повністю систематизовані.

Тим часом інший англійський натураліст Альфред Рассел Воллес (1823—1913) незалежно дійшов аналогічних висновків. У 1858 році він виклав свою теорію

на двадцяти сторінках і відіслав її Дарвіну. Того ж року обидва вчених виступили з доповідями на засіданні Ліннеєвського товариства в Лондоні. Наступного року Дарвін опублікував книгу «Походження видів шляхом природного добору, або Збереження боротьби за виживання найбільш пристосованих порід». Теорія природного добору, біля витоків якої стояли вчені, справедливо дістала назву теорії Дарвіна—Воллеса, хоча частіше звучить ім'я Дарвіна. Одна з причин цього — достоїнство книги Дарвіна. Бо недосить висловити ідею — необхідно ще й позв'язати її з фактами, і це найважче завдання й виконав Чарлз Дарвін. Він не тільки відкрив закон, але й показав, як він проявляється в різноманітних сферах. Втім, на честь Воллеса, слід сказати, що він не претендував на пріоритет і навіть називав себе дарвіністом.



Чарлз Дарвін

Так у чому ж полягає головне відкриття Дарвіна?

- По-перше, він відкрив, що рослинному й тваринному світові властива мінливість, тобто різноманітність ознак і властивостей в окремих організмах і їх зміна з різних причин. Таким чином, мінливість є основою еволюції, її першою ланкою.
- По-друге, учений вважав, що спадковість є чинником, за допомогою якого ознаки й властивості організмів (у тому числі й нові) можуть передаватися.
- По-третє, дослідник переконався, що природний добір відкриває дорогу тим організмам, які найбільш пристосовані до умов життя, до зовнішнього середовища і, навпаки, «відкидає на узбіччя» непристосовані організми.

Однією з найулюбленіших книжок маленького Чарлза Дарвіна була «Зономія», написана його дідом, одним з найвідоміших учених-трансформістів Еразмом Дарвіном. Напевно, дідусь дуже зрадив би, довідавшись, що всі 1250 примірників першого видання книги онука були продані за один день. Друге видання — 3000 примірників — також було миттєво продане.

вийшла його книга «Походження людини й статевий добір», у якій Дарвін доводив, що людина походить від спільної з мавпою істоти. У наш час існує понад десяток різних теорій походження людини — від створення людини Богом до інопланетного. До речі, Дарвін теж усвідомлював, що відсутність останків перехідних форм є серйозною прогалиною в його теорії. Але досі немає теорії більш обґрунтованої, ніж теорія Чарлза Дарвіна.

Людина вивчає себе

Витоки біології сягають у сиву давнину. Описання тварин і рослин, відомості про анатомію й фізіологію людини були необхідні для практичної діяльності людей. Зачатки лікування виникли на дуже ранніх стадіях існування людини. Наукові дані археологічних розкопок свідчать про те, що виняткового здоров'я у людей не було ніколи. Навпаки, первісна людина, що цілком залежала від природи, постійно страждала від холоду, вологи, голоду, болю й рано гинула. Інфекційні хвороби, такі, наприклад, як малярія, були «успадковані» людиною від людиноподібних мавп.

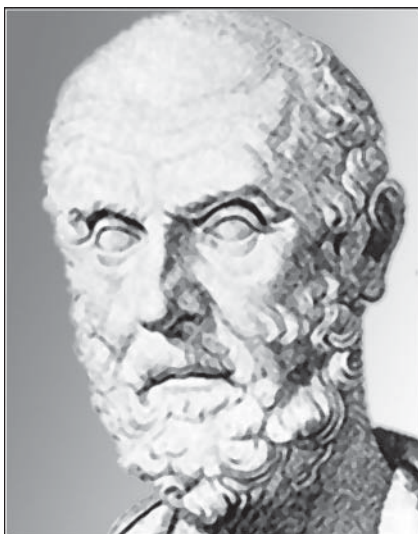
Зі спостережень і досвіду тисячоліть, що передавалися з покоління в покоління, народжувалося раціональне лікування. Коли якісь випадково застосовані засоби або прийоми давали користь, це дозволяло й надалі вдаватися до їхньої допомоги в подібних обставинах. Емпірично знайдені прийоми лікування й захисту від хвороб закріплювалися у звичаях первісної людини й поступово склали народну медицину й гігієну. Так, уже давня тибетська медицина твердила, що — «рот є воротами всіх хвороб» і що «першою хворобою була хвороба шлунка».

Первісній людині були невідомі природні причини багатьох явищ. Так, хворобу й смерть уявлялася їй втручанням таємничих сил — чаклунством. Нерозуміння навколишнього світу, безпорадність перед силами природи змушували вдаватися до замовлянь та інших магічних прийомів, щоб увійти в контакт

Отже, на трьох китах тримається основа еволюції рослинних і тваринних організмів на Землі: на мінливості, спадковості і природному доборі. На Дарвіна ополчилася церква. Її нападки стали особливо запеклими після того, як у 1871 році

із потойбічними силами й знайти порятунок.

Антична медицина успадкувала й магичні форми лікування, і раціональні прийоми, і цілющі засоби народної медицини. Великого значення вона надавала діетам, масажу, водним процедурам, гімнастиці. Застосовувалися хірургічні методи, наприклад, у разі важких пологів — кесаревий розтин. Велику увагу в ті часи приділяли попередженню хвороб («Вирви недугу перш, ніж вона торкнеться тебе»), із чого випливало багато порад гігієнічного характеру.



Гіппократ

Перші спроби осмислити й привести в систему явища життя, узагальнити накопичені біологічні знання й уявлення зробили давньогрецькі вчені й лікарі Гіппократ, Арістотель, Гален та інші. Їхні праці поклали початок сучасним ботаніці й зоології, анатомії й фізіології та іншим біологічним наукам.

У Давній Греції медицина була одним із найшанованіших занять. І це природно: любов до спортивних змагань, культ прекрасного тіла вимагали особливої уваги до людського організму. Давні греки добре розуміли значення гігієни (невипадково в храми бога медицини Асклепія прочани допускалися тільки після обмивання), розумілися на масажі, використовували для лікування хворих не тільки цілющі трави, але і їжу, запахи і навіть музику.

Професійні лікарі з'явилися в Давній Греції досить рано. Як правило, ними ставали найдосвідченіші й найспостережливіші, ті люди, хто мав до медицини покликання. Кваліфікація лікаря визначалася дуже просто: за кількістю вилікуваних хворих. Накопичений досвід передавався від батька до сина, подеколи (за гроші) — до учнів, яких звичайно було не так уже й багато. Все це зумовило те, що заняття медициною були надбанням дуже вузького кола осіб, причому навіть усередині цього кола існували школи, які конкурували між собою. У Давній Греції їх було три: Кротонська, Кнідська й Косська. Саме до останньої належав Гіппократ (бл. 460 р. до н. е. — 377 р. до н. е.). Представники школи дотримувалися трьох основних принципів. Насамперед, організм вони розглядали в тісному зв'язку з навколишнім середовищем (при-

Гіппократ народився на острові Кос. Його батько належав до уславленого роду Асклепідів. Як і багато знатних родин Давньої Греції, що згадували серед своїх предків богів або відомих героїв, Асклепіади вели свій родовід до славнозвісного лікаря (пізніше — бога медицини) Асклепія. В працях античних авторів згадується понад триста храмів бога-цілителя.

та розробляли питання лікарської етики, що також не дивно: пацієнти скоріше підуть до лікаря, якому вони довіряють, який не буде поширювати те, що він знає, чи про що він чув.

Гіппократ обрав долю мандрівного лікаря. Його головна заслуга полягає в тому, що він був першим медиком, який поставив вивчення медицини на наукову основу. Гіппократові приписують понад сімдесят різних творів, що становлять так званий Гіппократів кодекс. Усі його висновки засновані на ретельних спостереженнях і перевірених фактах, узагальнення яких давало підстави зробити вірні висновки. Якщо якісь загальноприйняті теоретичні передумови суперечили здоровому глузду, Гіппократ не боявся піддати їх сумніву. Наприклад, про епілепсію, що вважалася священною хворобою, яку насилають боги, лікар висловився так: «Мені здається, що це захворювання нітрохи не більш священне, ніж усе інші». Він більшою мірою спирався на практику, ніж на теорію, хоча одна з його філософських концепцій широко відома дотепер.

Для студентів медичних інститутів Європи клятва Гіппократа є свого роду допуском до обраної професії та символом медичного гуманізму. Безумовно, в цій клятві протягом тисячоліть було безліч варіантів, і у своєму первісному вигляді вона не звучала вже дуже давно. Адже сучасній людині досить важко всерйоз вимовити навіть її початок: «Клянуся Аполлоном-Лікарем, Асклепієм, Гігією і Панацеєю, й всіма богами й богинями, беручи їх у свідки...» Згадування язичницьких богів, звичайно, для християн недоречне. Нині медичне співтовариство готується до розробки нової клятви, але основні її положення — дотримання конфіденційності, турбота про здоров'я пацієнта, неспричинення шкоди — будуть збережені.

родними явищами, кліматом і т. д.). По-друге, особлива увага приділялася спостереженню за станом хворого (заочне лікування не допускалося). І нарешті, багато хто з попередників і послідовників Гіппократа

Це вчення про темпераменти. Саме Гіппократ першим запропонував поділ людей на типи залежно від того, якою рідини в ньому більше (жовчі, чорної жовчі, крові або флегми). У підсумку він окреслив чотири темпераменти: холерик, сангвінік, флегматик і меланхолік.

Гіппократ зробив величезний внесок у хірургію: описав методи вправлення суглобів, першим став

використовувати гіпсову пов'язку при переломах, при травмах голови робив трепанацію черепа. А його знаменита пов'язка, що зберегла назву «шапочка Гіппократа», дотепер використовується в усьому світі.

Гіппократ розділяв причини хвороб на два класи. До першого ставилися загальні шкідливі впливи з боку клімату, ґрунту, води. Сюди ж входила й спадковість. Другий клас становили особисті впливи: умови життя й праці, харчування, вік пацієнта та ін. Гіппократ систематизував розрізнені знання про людину і його оточення, врахував тендітну рівновагу між людиною й навколишнім середовищем. Багато хто з його послідовників домагався приголомшливих результатів, коли вони замість годування хворого сильнодіючими засобами змінювали спосіб життя, що спричинив недугу.

У часи Гіппократа, так само як і зараз, від правильної постановки діагнозу нерідко залежало життя пацієнта. Проаналізувавши сотні хвороб і діагнозів, він зробив діагностику не випадковим «угаданням», а строго науковою дисципліною. Огляд хворого Гіппократ вважав справою першорядної важливості. Куди б не прийшов давньогрецький лікар, йому завжди передувала гучна слава. Ще в давнину його твори були перекладені на латинську, сирійську і арабську мови.

Великий вплив на розвиток медицини мав римський лікар Клавдій Гален (бл. 130 — бл. 200): він узагальнив усі відомості, що їх набула на той час медицина, з анатомії, фізіології, патології, терапії, акушерства, гігієни, ліків, у кожному із цих медичних галузей вніс багато нового. У класичній праці «Про частини людського тіла» він дав перший анатомо-фізіологічний опис цілісного організму, показав, що анатомія й фізіологія є основою наукової діагностики, лікування й профілактики, ввів у медицину експерименти на тваринах. А найголовніше те, що Гален спробував побудувати наукову систему медицини. Були в нього й серйозні помилки. Так, наприклад, Гален вважав, що кров утворюється в печінці, розноситься по тілу й там цілком поглинається, що серце служить для утворення в ньому «життєвої пневми», яка



Гален



Авіценна

підтримує теплоту тіла; пояснював процеси, що відбуваються в організмі, дією особливої нематеріальної «сили»: силою пульсації, завдяки якій пульсують артерії. Згодом методи допитливого дослідника й експериментатора були забуті, залишилася тільки придумана їм «система» як остаточна «наукова» основа медицини, а лікарі-схоласти вивчали, цитували й коментували його роботи, що були канонізовані церквою. Тому лікарям, які ставилися до медицини як до науки, довелося вести непримиренну боротьбу з догмами галенізму.

Нагромадження практичних медичних спостережень, звичайно, тривало й у середні віки, однак центр наукової думки з Європи в IX—XI століттях перемістився в країни арабського Халіфату, де особливу роль у розвитку медицини відіграв різнобічний учений і мислитель Абу Алі Хусейн ібн-Абдаллах ібн-Алі ібн-Сіна, більш відомий як Авіценна (980—1037). Медициною Ібн-Сіна зацікавився дуже рано — в дванадцять років. Навчання тривало недовго, й він розпочав самостійну практику, а невдовзі став настільки відомим лікарем, що його запрошували в палаци лікувати емірів та вельмож. Його «Канон лікарської науки» — одна з найвідоміших книг в історії медицини. По суті, це ціла медична енциклопедія, що розглядає з великою повнотою (в межах знань того часу) все, що стосується здоров'я й хвороб людини. Ця капітальна праця, в якій близько 200 друкованих аркушів, уже у XII столітті була перекладена з арабської мови на латинську, й велика кількість її примірників розійшлася в рукописах. Коли винайшли друкарський верстат, «Канон» був серед перших друкованих книг, і за кількістю видань суперничав з Біблією.

У XVI—XVII століттях у наукових дослідженнях поряд зі спостереженнями й описами почали широко застосовувати експеримент. У цей час блискучих успіхів досягла анатомія, хоча розтини мертвих тіл були заборонені або обмежувалися поодинокими випадками. Данину анатомії віддали не тільки лікарі, але й багато художників епохи Відродження — Леонардо да Вінчі, Мікеланджело, Альбрехт Дюрер.

Парацельс — знаменитий лікар і натураліст, філософ, хімік, фармацевт, астролог. Один із засновників іатрохімії — напрямку медицини XVI—XIX століть, представники якого розглядали процеси, що відбуваються в організмі, як хімічні явища, хвороби — як результат порушення хімічної рівноваги й ставили завданням пошуки хімічних засобів лікування. Він піддав критичному перегляду ідеї давньої медицини, сприяв упровадженню хімічних препаратів і викладанню медицини рідною мовою замість латині. Автор знаменитої праці «Велика хірургія». Його настоячка опію століттями служила ефективним знеболюючим. Парацельс вивчав дію мінеральних вод і застосовував їх для лікування; деякі з них були відкриті ним вперше (у Шварцвальде, в Чехії). І можна тільки дивуватися, як слова вченого про анестезію за допомогою «солодкого ефіру» ігнорувалися аж до 1846 року.

Звище Віттінг, 1514—1564). Він народився в Брюсселі в родині потомствених медиків. Лікарями були його дід і прадід, а батько служив аптекарем при дворі імператора Карла V, і тому не дивно, що й Андреас став лікарем. Вочевидь, уже в юні роки, він прочитав про медицину чимало книг давніх і сучасних йому вчених, тому що вже ранні його праці свідчать про глибокі знання, а самостійно зібраний повний кістяк людини (з кісток страченого) став першим анатомічним посібником у Європі.

З кожним роком Везалій все більше цікавився медициною, анатомічними дослідженнями. У вільний від навчання час він у себе в будинку ретельно препарував тіла тварин: мишей, кішок, собак, захоплено вивчаючи будову їхнього організму. А коли він вступив на медичний факультет Паризького університету, то знав уже більше ніж викладачі. Везалій ставив на лекціях такі запитання, які свідчили про його сумніви в правоті навчання Галена, бо він довіряв більше своїм очам, ніж працям давнього авторитету. Багато труднощів довелося подолати молодому анатому, бо церква стояла на перешкоді розвитку природничих наук, забороняла розтин трупів людей, вважаючи це наругою. Коли у Андреаса не було грошей, щоб заплатити сторожеві на цвинтарі, то він навіть сам викопував трупи покійників і проводив розтини. Одного разу Везалій у місті Лувен потрапив у неприємну історію. Він зняв із шибениці труп страченого злочин-

Прагнення опанувати природу, підкорити її собі, відкрити її таємниці не могло не поставити й завдання подолання хвороб. А це для передових людей даної епохи означало вивчити реально, на практиці, у чому виражається хвороба, які явища вона викликає. Так, насамперед слід було вивчити тіло людини.

Творцем сучасної анатомії й засновником школи анатомів справедливо вважається бельгієць Андреас Везалій (справжнє прі-



Андреас Везалій

Книгу «Про будову людського тіла» прикрашають прекрасні малюнки художника Стефана Калькара, учня Тиціана.

Характерно, що зображені на малюнках кістки стоять у позах, які властиві живим людям, а пейзажі, що оточують їх, говорять про життя, а не про смерть. Вся ця праця Везалія була спрямована на користь живої людини, на вивчення її організму, здоров'я й життя. Кожна заголовна буква в трактаті прикрашена малюнком, що зображує дітей, які вивчають анатомію. А одна з головних композицій книги зображує Везалія під час публічної лекції й розтину трупа людини.

став знаменитий трактат у семи книгах, що з'явився в 1543 році під назвою «Про будову людського тіла». Це була гігантська наукова праця, в якій замість мертвих догм викладалися нові наукові погляди. Навіть малюнки в цій праці були особливими: ніде трупи не зображувалися в одному лежачому стані, нерухомо, а всюди динамічно, в русі, в робочих позах. Ця своєрідна манера зображення тіла являла собою перехід від описової анатомії до

ця й зробив розтин. Лувенське духівництво зажадало для нього найсуворішого покарання, і молодий дослідник утік у Падую (Італія).

Везалій так добре вивчив кістки людини й тварин, що міг, не дивлячись на них, на дотик назвати будь-яку з них. Він став викладати анатомію й хірургію в Падуанському університеті. Уряд Венеціанської республіки заохочував розвиток наук про природу й прагнув розширити роботу вчених у цьому напрямку. Блискучий талант молодого вченого було помічено, й у 22 роки Везалій уже отримав за свої праці звання доктора медицини і кафедру хірургії з обов'язком викладати анатомію.

Він з натхненням читав лекції, які завжди притягували до себе багато зацікавлених слухачів, а головне, продовжував свої дослідження. А що глибше він вивчав внутрішню будову організму, тим дужче переконувався в думці, що в навчанні Галена чимало досить значних помилок. Везалій поставив собі за мету — правильно описати розташування, форми й функції органів людського тіла. Результатом його натхненної й завзятої праці

«Праця Везалія, — писав знаменитий російський учений І. Павлов, — це перша анатомія людини в новітній історії людства, що не повторює саме вказівки й думки давніх авторитетів, а спирається на роботу вільного розуму, який веде дослідження».

стосовно будови руки, тазового пояса, грудної кістки тощо, і насамперед — будови серця. Гален твердив, що в серцевій перегородці дорослого є отвір, збережений з утробного віку, через який кров надходить із правого шлуночка безпосередньо в лівий. Відкривши непроникність серцевої перегородки, Везалій довів, що існує інший шлях надходження крові із правої частини серця в ліву. Описавши клапани серця, він створив основні передумови для відкриття легеневого кровообігу, яке було зроблено вже його спадкоємцями.

Праця Везалія схвилювала вчених. Сміливість його наукової думки була такою незвичайною, що поряд з послідовниками, які достойно оцінили його відкриття, в нього з'явилося багато ворогів. Чимало лиха зазнав великий учений: його залишили навіть учні, а вчитель самого Везалія відомий Сільвій назвав його «Везанус», що означає — божевільний. Більшість знаних медиків стали на бік Сільвія. Вони приєдналися до його вимоги покарати Везалія, що посягнув на славу великого Галена. Але вже ніхто не зміг закрити дорогу досліднику.

Цікаво, що саме Везалій, ретельно вивчивши кістяк людини, відкрив, що думка, начебто в чоловіків на одне ребро менше, ніж у жінок, зовсім невірна. Але таке відкриття виходило за рамки медичної науки. Воно торкалося церковного віровчення. Та Везалій зважився пере-

фізіології. Малюнки в книзі Везалія ілюструють не тільки будову тіла, але почасти й функції організму.

Везалій указав на ряд помилок Галена

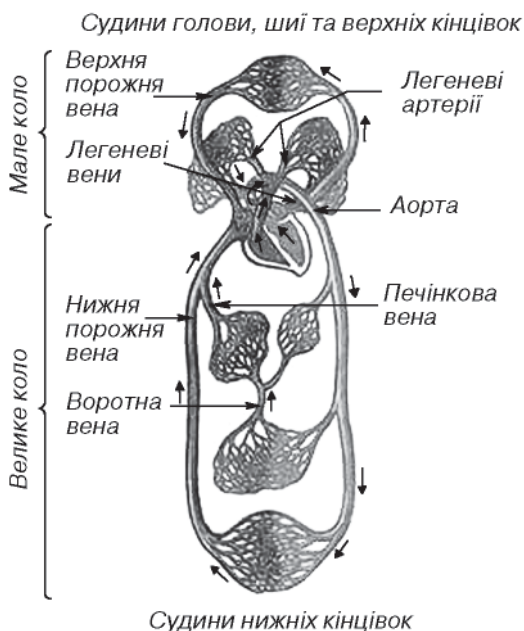


Схема кровообігу ссавців та людини



Мігель Сервет

креслити ще й інші твердження церковників: у його часи зберігалася віра в те, що в кістяку людини є особлива кісточка, що не згорить і в пекельному вогні. В ній нібито й закладена таємнича сила, за допомогою якої людина воскресне в день Страшного суду, щоб стати перед Господом Богом. І хоча кісточку цю ніхто не бачив, її описували в наукових працях, і в тому, що вона існує, ніхто не сумнівся. Везалій же прямо заявив, що не виявив у кістяках людини ніякої таємничої кісточки.

Наукові праці Андреаса Везалія і іспанського лікаря

Мігеля Сервета (1818—1881) заклали такі вагомні підмурки в будові вищих живих організмів — тварин і людини, що це сприяло великому відкриттю XVII століття — *вченню про кровообіг*. З висот наших знань важко навіть припустити, що були часи, коли люди виявивши цілком очевидні істини, ще заперечували їх. Одна з таких істин — велике коло кровообігу в живих організмах — народжувалася особливо болісно й важко. Протягом півтори тисячі років панування культу Галена в медицині, мабуть, найдовшого й найреакційнішого культу в історії науки, люди вважали, начебто артеріальна й венозна кров — зовсім різні рідини, перша «розносить рух, тепло й життя», а друга покликана «годувати органи».

Коли Мігель Сервет у своєму творі приділив кілька сторінок кровообігу: описав відкрите їм мале коло кровообігу, в тому ж 1553 році церковники спалили його як «боговідступника» разом з написаною ним «єретичною» книгою. Лише три примірники не потрапили в протестантське багаття, яке спопелило в Женеві її автора. Воістину сім кіл пекла пройшли ті, хто відкривав кола кровообігу. Їх було небагато, цих мужніх першопрохідників, яким люди встановили пам'ятники: у Мадриді — Мігелю Сервету, у Болоньї — Карло Руїні, у Пізі — Андреа Чезальпіно, в Англії — Вільямові Гарвею, — тому, хто сказав останнє слово.

А от Гарвей замислився над роллю цих клапанів. Він зважився на експеримент над самим собою. Туго перев'язавши свою руку, Вільям побачив, як незабаром вона нижче перев'язки затекла, вени набрякли, а шкіра потемніла. Наступний дослід

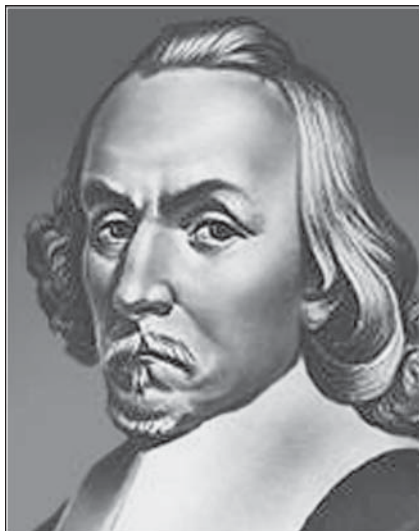
Вільям Гарвей (1578—1657) народився у Фолкстоуні в графстві Кент, у родині успішного купця. Але він, старший син і головний спадкоємець, з радістю поміняв торговельну справу на науку. Вчився у Кентерберійському коледжі, Кембриджі, Падуанському університеті. У Падуї він слухав лекції знаменитого анатома Фабріціо д'Аквапенденте, який відкрив у венах особливі клапани, але так і не зрозумів їхнього значення. Для нього вони були лише деталлю будови вен.

вище перев'язки з порізу не витекло жодної краплі крові.

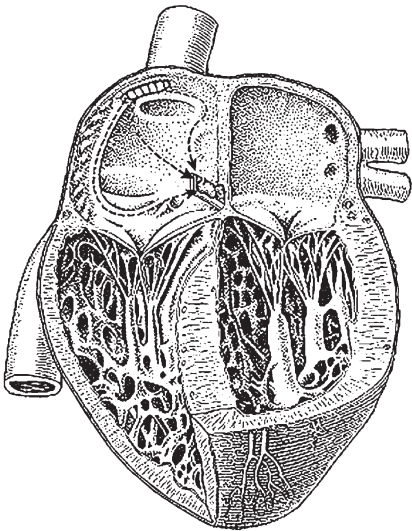
Стало зрозуміло, що нижче перев'язки вена переповнена кров'ю, а над нею крові немає. Відповідь напрошувалася сама собою, але Гарвей не поспішав з висновками. Обережний дослідник, він звик багато разів перевіряти свої досліди й спостереження. Він був справжнім ученим, бо навіть ставши почесним медиком при англійському королі Карлі I, не припиняв пошуків. Гарвей розтинає різних тварин, але найчастіше кішок, собак, телят. Препарує вчений і трупи людей: заборону розтинати трупи вже було знято. І щораз він розглядав вени й артерії, розрізав серце, вивчав шлуночки й передсердя. З кожним роком Гарвей усе краще й краще розбирався в мережі кровоносних судин, будова серця перестала бути для нього загадкою.

В 1616 році Гарвей уже був упевнений у своєму відкритті і під час лекцій привселюдно вперше висловив переконання, що кров в організмі безупинно рухається — циркулює, і що центром кровообігу є серце. Цим висновком Гарвей спростовував теорію Галена про те, що центром кровообігу є печінка. Гарвей зайнявся новими дослідженнями й спостереженнями. І тільки в 1628 році, коли вченому виповнилося вже 50 років, вийшла його невеличка книжка, в якій було 72 сторінки, — «Анатомічне дослідження про рух серця й крові у тварин». Ця праця зробила його ім'я безсмертним.

Гарвей зробив над собакою. Він перев'язав її шнурком обидві лапи. І знову нижче перев'язок лапи почали набрякати, а вени набухати. Коли набрякла вена на одній лапі була надрізана, з порізу закапала густа темна кров. Після надрізу на іншій нозі



Вільям Гарвей



Серце людини в розтині

Гарвей відкрив, що серце — це потужний м'язовий мішок, розділений на кілька камер. Працюючи аналогічно насосу, воно нагнітає кров у судини (артерії). Поштовхи серця — це послідовні скорочення його відділів — передсердь, шлуночків, — і вони є зовнішніми ознаками роботи «насоса». Кров рухається по двох колах, увесь час повертаючись у серце. У великому колі кров рухається від серця до голови, до поверхні тіла, до всіх його органів. У малому колі кров рухається між серцем і легеньми. У судинах повітря відсутнє, оскільки вони наповнені кров'ю.

Загальний шлях крові: із правого передсердя — у правий шлуночок, звідти — у легені, з них — у ліве передсердя. Це і є мале коло кровообігу. Честь відкриття малого кола кровообігу, як уже зазначалося, належить Сервету, але Гарвей цього знати не міг, оскільки книги Сервета були спалені.

З лівого шлуночка кров виходить на шлях великого кола. Спочатку по великих, потім по все більш й більш дрібних артеріях вона тече до всіх органів, до поверхні тіла. Шлях назад — у серце (у праве передсердя) кров проходить по венах. І в серце, і в судинах вона рухається лише в одному напрямку. Це відбувається тому, що клапани серця не допускають зворотного руху. Клапани у венах відкривають шлях тільки у напрямку до серця.

Гарвей, звичайно, ще не знав, як потрапляє кров з артерій у вени. Без мікроскопа шлях крові в капілярах простежити неможливо. Капіляри відкрив у 1661 році італійський учений Марчелло Мальпігі (1628—1694), тобто через чотири роки після смерті Гарвея. Разом з тим, Гарвей розумів, що перехід крові з артерій у вени потрібно шукати там, де перебувають дрібні розгалуження артерій і вен. Не знав Гарвей про роль легенів. У його час не тільки не знали про газообмін, але й навіть склад повітря ще не був відкритий. Гарвей тільки твердив, що в легенях кров охолоджується й змінює свій склад.

Гарвею випало пережити багато неприємностей, але потім з його вченням почали рахуватися. Молоді лікарі й фізіологи пішли за ним, і вчений під кінець життя дочекався визнання свого від-

Як і всі відкриття того часу, вчення Гарвея про кровообіг спричинило нападки на нього з усіх боків, бо авторитет Галена й інших давніх мудреців був ще занадто великий. Супротивниками Гарвея були знані вчені і лікарі-практики. Йому навіть дали прізвисько «Шарлатан». «Цар анатомів», особистий лікар Марії Медічі — Ролан, а за ним інші медики кинули бойовий клич новому відкриттю: «Краще помилки Галена, ніж істини Гарвея!».

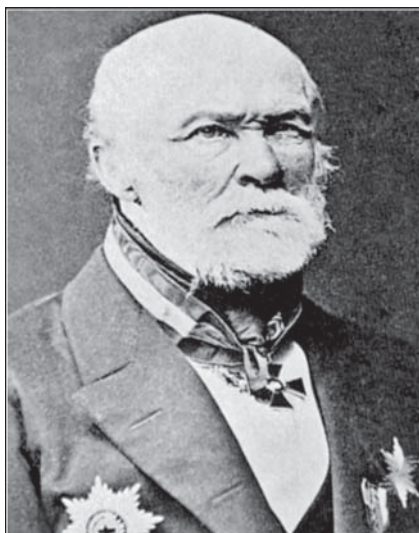
вченим Миколою Івановичем Пироговим (1810—1881) топографічної анатомії.

Майбутній великий хірург народився в Москві. Першими потрясіннями в дитячому віці стали для нього комета, що віщує лихо, й відвідування родини знаменитим професором медицини Є. Мухіним. З тих пір Микола постійно зображував із себе великого лікаря, а «хворих» на догоду молодшенькому в сім'ї зображували всі домочадці. Коли родина несподівано різко збідніла, батьки «зістарили» свого талановитого хлопчика на два роки, щоб чотирнадцятирічний Микола міг вступити на медичний факультет Московського університету. Йому довелося не тільки вчитися, але й постійно працювати, щоб допомогти родині. На щастя всієї медицини Пирогову пощастило влаштуватися на посаду прозектора в анатомічному театрі, що стало першою віхою в його професійній кар'єрі.

Микола був бідний, але щасливий. Він сидів на лекціях у шинелі, бо на студентський мундир грошей не було, харчувався дуже погано, але легко опановував науки й відчував, що незабаром зможе обігнати своїх наставників. Так воно і сталося: Пирогов блискуче захистив докторську дисертацію й у 26 років став професором хірургії. Слава про лікаря бігла попереду нього. В 1837 році з'явився на світ один з найзначніших творів Пирогова — «Хірургічна анатомія ар-

криття, а медицина й фізіологія стали на новий, справді науковий шлях. Відкриття Гарвея сприяло докорінним змінам у розвитку медичної науки.

Наступним великим кроком на шляху пізнання людиною свого організму стало створення видатним



Микола Іванович Пирогов

За влучним висловом професора хірургії Лева Левшина, Пирогов виробив «прекрасні правила, як належить йти з ножем з поверхні тіла в глибину, щоб легко й швидко перев'язати різні артерії людського організму».

теріальних стовбурів і фасцій». Текст супроводжувався півсотнею найточніших таблиць.

Можна по-різному вивчати будову людського тіла, і про це

пише Пирогов: «...Хірург повинен займатися анатомією, але не так, як анатом... Нехай анатом до дрібних подробиць вивчить людський труп, і все-таки він ніколи не зможе звернути увагу учнів на ті пункти анатомії, які для хірурга є найважливішими, а для нього можуть не мати жодного значення».

Звичайний спосіб розтину, до якого звикли анатоми, не був прийнятним для прикладних цілей: видаляється багато сполучної тканини, що втримує різні частини в їхньому взаємному розташуванні, внаслідок чого змінюються їхні нормальні співвідношення. М'язи, вени, нерви на малюнках віддалені одне від одного й від артерії на багато більшу відстань, ніж це є в дійсності. Відшукати судину часом нелегко. Людське тіло дуже складне — набагато складніше, ніж це здається неспеціалістові, який знає про нього лише з плакатів-схем шкільного курсу анатомії. Щоб не заблукати, потрібно знати особливі орієнтири. Ось Пирогов і відкрив усім лікарям найдетальніші віхи в людському організмі.

М. І. Пирогов висунув на перший план *топографічну анатомію**, бо хотів, щоб для хірурга людське тіло стало ніби прозорим, щоб лікар подумки міг уявити собі розташування всіх органів у розрізі, проведеному в будь-якому напрямку через будь-яку площину тіла.

До нього, щоб довідатися, як розташовані різні частини тіла, анатоми розтинали порожнини, руйнували сполучну тканину. Повітря, вриваючись у порожнини, спотворювало первісне розташування органів та їхню форму. Однак зробити точний розтин звичайним способом було неможливо і Пирогов знайшов новий шлях. Існує легенда, що позв'язує випадковий епізод з життя Пирогова з ідеєю, що перевернула всю анатомічну науку. Одного разу Микола Іванович, проїжджаючи по Сінній площі, де взимку звичайно були розставлені розсічені заморожені свинячі туші, звернув на них особливу увагу й почав застосовувати помічене у своїй практиці.

Щоб отримати точні дані про топографію людського тіла, Пирогов заморожував трупи до щільності твердого дерева, а тому міг

* Топографічна анатомія — анатомія, що вивчає взаємне розташування органів та їх співвідношення до кровоносних судин та нервів.

не хвилюватися за те, що повітря ввійде в розкриті порожнини і zdeформує частини тіла. Пирогів розпилював заморожені трупи, як дерево, на тонкі паралельні пластинки в трьох напрямках. Хірург бився над «крижаною анатомією» близько десяти років і поступово підготував атлас розтинів «Ілюстрована топографічна анатомія розпилів, проведених у трьох напрямках через заморожене людське тіло». Всього в «крижаній анатомії» тисяча малюнків!

За цей час Пирогов відкрив ще й так звану «скульптурну анатомію»: труп заморожували ще сильніше — до щільності каменю, — а потім за допомогою долота й молотка оголювали із заляклих шарів потрібні для вивчення частини й внутрішні органи в незмінному їх положенні. «Крижана анатомія» вважається вершиною всіх зроблених Пироговим відкриттів.

Анатомічний атлас Пирогова став незамінним посібником для лікарів-хірургів, які дістали можливість оперувати, завдаючи якнайменше травм хворому. Цей атлас і відкрита Пироговим методика стали основою всього наступного розвитку оперативної хірургії.

Найвищі досягнення

Будь-яке, навіть найменше відкриття в галузі біології та медицини є важливим для вивчення життя на Землі та його збереження. Однак серед них все одно є низка найбільш вагомих, кожне з яких стрімко підіймало науки на вищий щабель. Так, наприклад, вже давно існували здогади про існування якихось дрібненьких, не видимих оком істот, винних у виникненні й поширенні заразних хвороб. Але всі ці здогади так і залишалися тільки здогадами, адже ніхто ніколи не бачив цих дрібних організмів. Першим, кому випала велика честь відкрити завісу в невідомий до того світ живих істот — мікроорганізмів, які відіграють величезну роль у природі й у житті людини, став голландець Антоні ван Левенгук (1632—1723).

Ще в молодості Антоні навчився виготовляти збільшувальне скло й досяг у цьому



Антоні ван Левенгук



Сучасний мікроскоп — нащадок луп Левенгука

віртуозної майстерності. У ті часи найдужчі лінзи збільшували зображення лише у двадцять разів. «Мікроскоп» Левенгука — це, по суті, була дуже сильна лупа розміром з горошину, користуватися якою через її розміри було вкрай важко. Однак вона збільшувала предмети в 150—300 разів. Ці чудові лінзи й виявилися вікном у новий світ — світ мікроорганізмів.

З 1680 року Левенгук став членом Лондонського королівського товариства, до якого приймали тільки видатних уче-

них. Антоні ж не був професійним вченим, а займався торгівлею мануфактурою. Він не здобув освіти й досяг видатних успіхів тільки завдяки таланту й незвичайній працьовитості. Впродовж майже 60 років Левенгук посилав у Лондонське королівське товариство листи, розповідаючи в них про свої дивні відкриття. Вони друкувалися в наукових журналах, згодом 170 з них були видані латиною окремою книгою за назвою «Таємниці природи, відкриті Антонієм Левенгуком за допомогою мікроскопа».

Проводячи свої дослідження без усякого плану, цей учений-самоучка зробив безліч важливих відкриттів і став одним з найбільш видатних дослідників природи. Левенгука визнано основоположником наукової мікроскопії не тільки в галузі мікробіології, але також і в анатомії, і зоології. Він перший відкрив, що кров рухається в дрібних кровоносних судинах — капілярах, а сама кров — живий потік, у якому рухається безліч дрібних тілець, які тепер називають еритроцитами. Він уперше спостерігав і замалював окремі рослинні й тваринні клітини, яйця й зародки, м'язову тканину, інші тканини й органи більш ніж у 200 видів рослин і тварин. Дуже важливе й інше відкриття Левенгука: в насінній рідині він уперше побачив сперматозоїди — ті маленькі клітини із хвос-

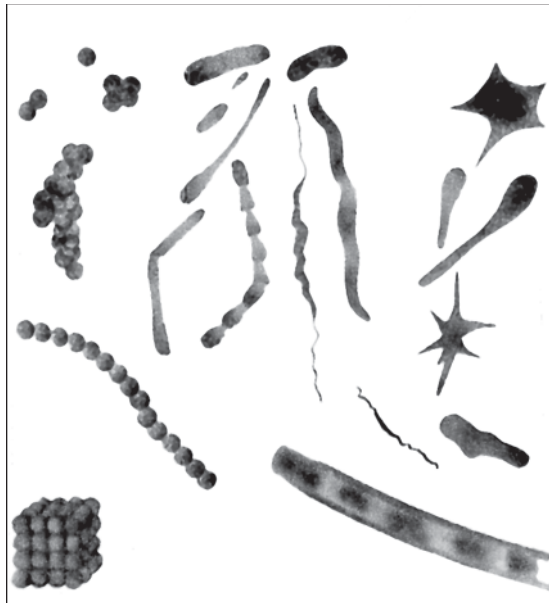
Левенгук став одним з перших, хто почав проводити досліді на собі. Зі свого пальця він брав кров на дослідження, шматочки своєї шкіри поміщав під мікроскоп, розглядаючи її будову на різних ділянках тіла і підраховуючи кількість судин, які її пронизують. Левенгук випробовував на собі й дію ліків. Занедужавши, він стежив за перебігом своєї хвороби, а перед смертю скрупульозно фіксував згасання життя у своєму тілі.

тривалий час розглядав під мікроскопом все, що потрапляло на очі: шматочки м'яса, краплі дощової води або сінного настою, хвостик пуголовка, око мухи, сіруватий наліт зі своїх зубів тощо. Яке ж було його здивування, коли в усьому він побачив силу-силенну... живих істот. Вони мали вигляд і паличок, і спіралей, і кульок. Іноді ці істоти мали вигадливі відростки або війки. Деякі з них швидко рухалися. Зрозуміло, що Левенгук відразу сповістив про це відкриття в Лондонське королівське товариство, додавши замальовки того, що побачив у мікроскоп.

Ось що писав Левенгук у Лондонське королівське товариство про свої спостереження: «24 квітня 1683 року я подивився на воду, у якій кілька тижнів пролежав шматочок кореня хрину, під мікроскопом і з великим подивом побачив у ній величезну кількість дрібних живих істот. Деякі з них у довжину були рази в три-чотири більше, ніж завширшки, хоча вони й не були товщі за волоски, що вкривають тіло воші... Інші мали правильну овальну форму. Був там ще й третій тип організмів, найчисленніший, — дрібні істоти з хвостиками». Саме так, дуже прос-

тиками, які, проникаючи в яйцеклітину, запліднюють її, в результаті чого виникає новий організм.

1683 рік можна вважати роком народження *мікробіології*. Саме тоді в Делфті Антоні ван Левенгук уперше побачив бактерії. До цього моменту він



Форми бактерій

то на перший погляд, сталося одне з найвеличніших відкриттів, що поклало початок мікробіології.

З часів Левенгука й до наших днів мікробіологія домоглася великого прогресу. Вона виросла в широко розгалужену сферу знань, що має дуже велике значення і для всієї людської праці, і для пізнання законів природи. Кожний рік приносить все нові відкриття в мікробіології, але треба сказати, що всі вони передусім базуються на пророчих словах Антоні ван Левенгука: «Слід уникнути міркувань, коли говорить дослід».

Левенгуку належить і відкриття в 1680 році пивних дріжджів, але тільки в 1835 році Кан'яром де Латуром було доведено, що вони належать до нижчих рослинних організмів, мають ядро, розмножуються брунькуванням і спричиняють бродіння. Та слід зазначити, що бродіння тоді все ж таки віднесли до хімічних процесів, як і гниття. Видатні хіміки того часу Лібіх і Берцеліус розвили цю точку зору. Але свої дослідження із бродіння почав французький учений Луї Пастер (1822—1895). Йому ще не виповнилося й 26 років, коли він уже набув популярності своїми дослідженнями в галузі будови кристалів. Молодий хімік відкрив причину неоднакового впливу променя поляризованого світла на кристали органічних речовин. Це видатне відкриття привело до виникнення стереохімії — науки про просторове розташування атомів у молекулах, — науки, що здається такою далекою від біології.

У 1854 році Пастер був призначений професором хімії і деканом фізико-математичного факультету Лілльського університету. Цей



Луї Пастер

район Франції славився своєю цукровою, бродильною й виноробною промисловістю. У той час Пастер захопився вивченням мікробів. Студенти просто молилися на свого блискучого викладача, а лілльські підприємці не шкодували коштів на облаштування його лабораторії. Адже Пастер терпляче досліджував властивості добрив, що поставляються ними, а потім на прохання багатого винокура Біго зайнявся його «великими неприємностями із бродінням». До нього жоден хімік у світі не вивчав процеси, у ході яких цукор перетворюється на алкоголь. Виявивши в сірій

В'язкій буряковій масі безліч кульок (дріжджі), які були в багаторазів менші найдрібнішого кристала, він відчув уже знайоме збудження першовідкривача. Його лабораторія стала схожою на кабінет алхіміка. За допомогою спеціально сконструйованого апарата він виявив, що «хворий» сік (той, що забродив) кишить паличками, а крім звичних дріжджів завжди містить молочну кислоту, але не містить алкоголю. Малесенькі паличкоподібні істоти, що псують вино, виявилися живими «ферментами», що викликають молочнокисле бродіння. Так Пастер — хімік і фізик — уперше зіштовхнувся із захоплюючою галуззю біології — фізіологією.

У маленькій, дуже скромній лабораторії в Ліллі в 1857 році Пастер зробив чудове відкриття. Він довів, що бродіння — це біологічне явище, і всяке бродіння (спиртове, оцтове й ін.) є результатом життєдіяльності особливих мікроскопічних організмів — дріжджових грибків. Своїми ж дослідженнями з культивування й штучного ізолювання мікроорганізмів Пастер зробив перші кроки до створення бактеріологічної техніки.

А головне те, що Пастер уперше як геніальний біолог дав вичерпну відповідь на запитання: чому виникає бродіння. Він пояснив доцільність цього процесу і показав, що він необхідний для життєдіяльності клітин, і якби вони не мали здатності пристосовуватися, то не могли б виникнути в природі.

Пастер також указав на енергетичне значення бродіння і довів, що воно має екологічне значення. У своїх дослідженнях він неодноразово відзначає ту велику роль, яку відіграють продукти власної життєдіяльності мікроорганізмів, що бродять, у зміні навколишнього середовища. Установивши, що один вид мікроба витісняє продуктами власної життєдіяльності інші, вчений розв'язав одну з найцікавіших екологічних задач. Тому Пастера вважають також фундатором молодой галузі мікробіології — *екології мікроорганізмів*.

Розгадка явища бродіння мала величезне практичне значення не тільки для французького виноробства, що зазнавало величезних збитків від «хвороб вина», але й відіграла виняткову роль у розвитку біологічної науки, практики сільського господарства й промисловості. Глибоке пізнання природи бродіння уможливило керування цими процесами. Це дуже важливо для хлібопечення, виноробства, виготовлення багатьох харчових речовин.

Пастер вступив у відкриту полеміку з королем хіміків Лібіхом, родоначальником хімічної теорії бродіння й зумів довести, що причина процесу криється в живих організмах. Протягом дискусії Пастер зробив ще одне дуже важливе відкриття. Він ви-

Одного разу на вулицю, де жив французький мікробіолог Луї Пастер, прийшов лист, де замість імені адресата було написано: «Тому, хто робить чудеса». Листоноша не вагаючись доставив лист за адресою — Пастеру.

явив організми, для яких кисень не тільки не потрібний, але й шкідливий. Це так звані *анаеробні бактерії* (1861), що викликають, зокрема, маслянокисле

бродиння й призводять до прогірклості вина та пива й псуванню продуктів. Відкриття анаеробіозу навело Пастера на думку, що організмам, які живуть у середовищі, позбавленому кисню, бродиння заміняє дихання. Ці його дослідження вщент розгромили теорію самозародження організмів, що володіла умами вчених ще з часів Арістотеля.

Щоб розповісти про заслуги Пастера як основоположника наукової мікробіології, треба написати цілу книгу. У науковій суперечці з французьким ученим Ф. Пуше він численними дослідженнями незаперечно довів, що всі мікроорганізми виникають шляхом розмноження. Там, де мікроскопічні зародки вбиті й проникнення їх із зовнішнього середовища неможливе, де немає й не може бути мікробів, там не буває ні бродиння, ні гниття. Треба сказати, що цього разу Пастер перебував на грані провалу, і якби не відома тепер колба з вигадливо вигнутим, немов лебедина шия, горлом, придумана Баларом для «утримання» бактерій, що перебувають у повітрі, він би цю дискусію програв.

Луї Пастеру потрібно було ще 13 років і тисячі дослідів для завершення своїх робіт із бродиння й гниття, щоб цілком впевнено оголосити світу про універсальний закон участі мікроскопічних істот у всіх видах бродиння. Все своє подальше життя Пастер присвятив вивченню мікроорганізмів і пошукам засобів боротьби зі збудниками заразних хвороб тварин і людини.

Слід зазначити, що мікроорганізми можуть приносити не тільки користь, але й створювати велику небезпеку. Такі хвороби, як чума, холера, тиф, забирали життя десятків тисяч людей. Не останнє місце серед таких хвороб посідала й віспа. В Європі у XVIII столітті щорічно гинуло від віспи понад 400 тисяч чоловік. Ще більше людей залишалися на все життя знівеченими, а іноді й сліпими. Особливо великою була смертність від віспи серед маленьких дітей і бідних. А сьогодні ми знайомі з епідеміями натуральної віспи тільки з книг, бо на всій планеті вона зникла до 1980 року завдяки віспощенню. І дякувати за це людство повинне англійському сільському лікарю Едварду Дженнеру (1749—1823). Цікаво, що спосіб попередження захворювання віспою він відкрив, коли ще ніхто не знав про збудника цієї хвороби. Дженнер звернув увагу на те, що люди, що заразилися «коров'ячою віспою»,

Не відразу метод віспощення був визнаний у світі. Дуже гнівалися церковники, вважаючи це противним Богові. Багато лікарів поставилися до нього скептично, а серед простих людей ходили навіть чутки, що в щеплених виростають роги й хвіст. І все-таки віспощення перемогло. Тепер, коли прищеплюють віспу, у кров впускають мільйони лейкоцитів, взятих із крові теляти, що перехворів справжньою віспою й видужав.

не хворіють на натуральну людську віспу. У тварин на вим'ї й шкірі з'являються гнійні пухирці. Доярки розповідали лікарю, що всі вони, як правило, перехворіли на «коров'ячу віспу» і після цього вже не бояться натуральної.

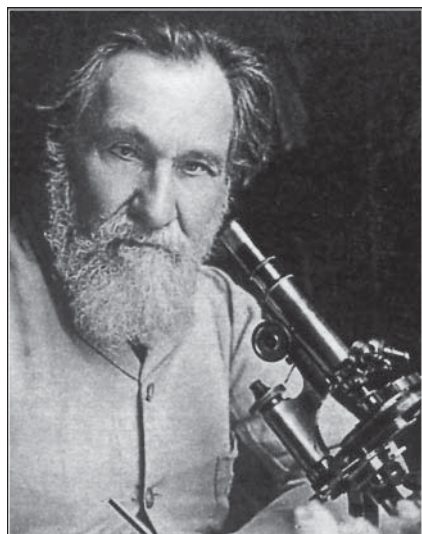
Лише іноді під час епідемії деякі з них почували незначну недугу.

Багато років присвятив Дженнер вивченню цього питання, перш ніж зважився провести дослід на людині. І от 14 травня 1796 року він прищепив восьмирічному хлопчикові Джонові Фіппсу гній з руки жінки, що заразилася коров'ячою віспою. За кілька днів після невеликої недуги хлопчик видужав. Але чи став він несприйнятливий до натуральної віспи? Потрібний був інший дослід, дуже ризикований, бо лікар ризикував не тільки здоров'ям, але й життям дитини. Незабаром у цій місцевості спалахує епідемія натуральної віспи. І Дженнер, взявши гній з пухирця хворого, знову заражає ним дитину. Джон Фіппс не занедужав, бо в його крові вже були лейкоцити, які навчилися перемагати смертельну інфекцію.

Але з наукової точки зору механізм віспощення тоді ще не був відомий. На це відкриття довелось чекати 58 років, саме тоді Луї Пастер створив науковий метод, заснований на точних експериментах і застосовний до всіх інфекційних захворювань. Розпочалось усе з вивчення ним у 1879—1880 роках курячої холери. Багаторазово повторення дослідів при введенні курям мертвих бактерій дали змогу Пастеру дійти двох висновків:

- 1) тривале зберігання культури збудника курячої холери в термостаті за наявності повітря приводить до ослаблення її вірулентності;
- 2) попереднє введення ослабленої культури курям робить їх несприйнятливими до цієї хвороби.

Так народилася ідея про запобіжні щеплення, що була потім використана Пастером у його наступних роботах з патогенними бактеріями. Важко переоцінити значення висновку, якого він дійшов після цих спостережень. Був знайдений принцип, після впровадження якого стала реальною боротьба зі всілякими інфекціями. Відкрилися широкі перспективи для експериментальної зміни вірулентності в патогенних культурах з метою одержати матеріал, необхідний для щеплень. Це було геніальне відкриття.



Ілля Ілліч Мечников

Ідеї Пастера в галузі мікробіології та імунітету продовжив та розвинув українець Ілля Ілліч Мечников (1845—1916) — видатний зоолог, ембріолог, бактеріолог і імунолог, мікробіолог, патолог та педагог. Він є одним із фундаторів імунології, порівняльної патології, еволюційної ембріології, творцем теорії походження багатоклітинних організмів. Мечников перший звернувся до проблеми старіння організму людини (геронтологія) та відкрив у 1882 році явище фагоцитозу. Він довів, що особливі клітини — фагоцити (наприклад, лейкоцити) мають здатність «пожирати» хвороботворні бактерії. За фагоцитарну теорію імунітету вчений став лауреатом Нобелівської премії по фізіології й медицині за 1908 рік.

організми. Луї Пастер створив перші вакцини проти холери в курей, сибірської виразки й бешихи.

Здавалося, що тепер можна було б спокійно відпочивати на лаврах, але перед 50-літнім Луї Пастером раптом виникла чергова проблема, що вимагала його термінового втручання, — сибірська виразка, а також і інші інфекційні захворювання. Завдяки попереднім дослідженням ученого стали можливими знищення мікроорганізмів і контроль за мікробним зараженням. Ці роботи Пастера засвідчили хибність поширеного в медицині того часу погляду, за яким будь-які хвороби виникають або всередині організму, або під впливом зіпсованого повітря (міазмів). Однак він не задовольнився відкриттям причини виникнення цих хвороб. Він шукав надійного способу боротьби з ними. І знайшов! Спосіб цей — *щеплення*, в результаті яких в організмі створюється несприйнятливість до певного захворювання — *імунітет*.

Пастер першим у світі сформулював і блискуче обґрунтував на дослідах ідею створення штучного імунітету. Учений довів, що хвороби, які тепер називають заразними, можуть виникати тільки в результаті зараження — проникнення в організм із зовнішнього середовища мікробів — і що інфекціям, викликаним стафілококом, стрептококом і пневмококом, можна запобігти, якщо ввести в організм ослаблені мікроор-

Про досягнення Пастера вибиті скупі слова на меморіальній дошці при вході в його першу лабораторію на вулиці д'Юльм:

ТУТ БУЛА ЛАБОРАТОРІЯ ПАСТЕРА

1857 рік. Бродіння.

1860 рік. Мимовільне зародження.

1865 рік. Хвороби вина й пива.

1868 рік. Хвороби шовковників*.

1881 рік. Інфекція й вакцини.

1885 рік. Сказ.

кову школу мікробіологів, багато хто з його учнів згодом стали великими вченими. Пастер говорив своїм послідовникам: «Бути впевненим, що відкрив важливий науковий факт... напружувати всі сили, щоб самому зруйнувати плоди своїх праць, і не проголошувати отриманого результату, поки не випробував усі гіпотези, що йому суперечать, — так, це важкий подвиг».

І якщо за успішну вакцинацію тварин Пастеру були вдячні селяни, то за методику профілактичних щеплень від сказу — все людство. Цікаво, що над цією проблемою вчений працював практично «наосліп»: збудника сказу — фільтрівний вірус — не було навіть видно в мікроскоп (його виявили лише в 1903 р.). При розробці вакцини проти сказу Пастер використовував особливим чином висушений мозок заражених сказом кроликів. Численні досліди на тваринах дали позитивні результати, але випробувати цей засіб на людях учений ніяк не міг зважитися. Спочатку Пастер навіть подумував про те, щоб прищепити ослаблену отруту сказу всім собакам у Франції, але потім зрозумів, що це неможливо, і чотирнадцять щеплень треба робити не собакам, а людям, яких укусили скажені собаки. У лабораторію Пастера почали приходити листи із проханням надіслати вакцину для лікування. Але Пастер все ніяк не міг зважитися на це, побоюючись смертельного результату для людини. Він навіть хотів увести вакцину собі.

І мабуть тільки випадок поклав кінець його ваганням. Шосто-го липня 1885 року одна жінка, яка була в розпачі від горя, привезла до Пастера з Ельзаса свого сина Жозефа Мейстера, якого покусав скажений собака два дні тому. Хлопчик був приречений на смерть. Пастер зважився випробувати на ньому щеплення від сказу. Важко дався йому цей дослід. Він проводив ночі без сну, надію змінював розпач, поки не були зроблені всі чотирнадцять щеп-

* Пастер виявив точну причину захворювань шовковників — паразитуючу пербину та грибок флашерію. Для цього йому знадобилося 15 років.

За сьогоднішніми успіхами в галузі вакцинопрофілактики стоїть величезна робота Пастера — обдарованої людини, наділеної найкращими для дослідника якостями талантом і відданістю своїй справі. Він створив світову нау-

лень. Але який він був щасливий, коли дитина залишилася живою і здоровою! Його наукове передбачення виправдалося, і шлях до порятунку сотень і тисяч життів був відкритий. Люди повірили Пастеру. Тепер страждальці з усіх кінців світу почали стікатися в лабораторію цього чарівника з вулиці д'Юльм.

Увесь світ визнав нове відкриття вченого. Його лабораторія тимчасово перетворилася на фабрику з виробництва вакцин. У різних країнах з'явилися пастерівські станції, де робили щеплення від сказу. Перша з них відкрилася в Одесі 12 червня 1886 року, і тут працювали такі видатні вчені, учні Пастера, як Ілля Ілліч Мечников і Микола Федорович Гамалія.

Дух генія, що зробив переворот у хімії, мікробіології, медицині, хірургії й гігієні, продовжує жити й донині. На всіх континентах з'явилися інститути імені Пастера. На принципі вакцинації, що був розроблений ним, заснована вся теорія й практика боротьби із заразними хворобами людини, тварин і рослин.

Безперечно, що відкриття Пастера, які привели його до розробки методу запобіжних щеплень, не тільки заклали основи нової науки — *імунології*, але уможливили розвиток одного з найбільш важливих розділів профілактичної медицини. Однак використання нових даних для боротьби з іншими інфекційними хворобами утруднювалося, тому що їхні збудники ще не були відкриті. Так, туберкульоз продовжували вважати спадковим захворювання, а від нього тільки в Німеччині помирала кожна сьома людина. Лікарі були безсилі. Відкриття збудника туберкульозу належить німецькому лікарю й бактеріологу Генріху Герману Роберту Коху (1843—1910).



Генріх Герман Роберт Кох

Під час франко-пруської війни, що розпочалася в 1870 році Кох добровільно став лікарем польового госпіталю й тут набув великого досвіду в лікуванні інфекційних хвороб, зокрема холери й черевного тифу. Одночасно він вивчав під мікроскопом водорості й великі мікроби, вдосконалюючи свою майстерність у мікрофотографії. А коли дружина подарувала йому мікроскоп, то з того часу Роберт цілі дні проводив біля нього. Він утратив усякий інтерес до приватної

практики лікаря й почав вести дослідження, утримуючи для цієї мети справжнє полчище мишей.

Виконавши низку ретельних, методичних експериментів, Кох відкрив бактерію, що була єдиною причиною сибірської виразки — захворювання, поширеного серед великої рогатої худоби й овець, яке вражає легені, викликає карбункули шкіри й зміни лімфовузлів. Дослідження Коха вперше довели бактеріальне походження захворювання.

Після цього Кох вирішив спробувати знайти збудника туберкульозу. Щодня він рано вранці з'являвся в лікарні й одержував небагато мокротиння або кілька крапель крові людини, хворої на сухоту (туберкульоз), і у своїй лабораторії потай починав дослідити під мікроскопом. Він вирішив, що в нього є шанс побачити «таємничого вбивцю» тільки за допомогою речовин, що фарбують. І ось нарешті метиленова синька викрила яскраво-сині крихітні, злегка вигнуті палички. Деякі з них плавали в міжклітинній речовині, деякі були всередині клітин. Кох досяг свого тріумфу, коли 24 березня 1882 року оголосив, що зумів виділити бактерію — паличку Коха, — яка викликає туберкульоз. У його публікаціях з проблем туберкульозу вперше були позначені принципи, які потім стали називатися постулатами Коха. Ці принципи «одержання вичерпних доказів, що той або інший мікроорганізм дійсно безпосередньо викликає певні захворювання», — дотепер залишаються теоретичними основами медичної мікробіології.

Наступним кроком Коха став пошук засобів лікування туберкульозу. В 1890 році він оголосив, що такі ліки знайдені. Кох виділив так званий туберкулін — стерильну рідину, що містить речовини, вироблювані бацилою туберкульозу в ході росту. Однак насправді туберкулін не стали застосовувати для лікування туберкульозу, бо особливої терапевтичної дії він не мав, а його введення супроводжувалося токсичними реакціями, що й спричинило його найгострішу критику. Протести проти застосування туберкуліну вщухли лише тоді, коли виявилось, що туберкулінова проба може використовуватися при діагностиці туберкульозу. За це відкриття, що зіграло велику роль у боротьбі з туберкульозом, Коху в 1905 році було присуджено Нобелівську премію.

Але знати збудника хвороби й робити щеплення інколи буває не достатньо для боротьби з недугою. Нині навіть дитині відоме слово *антибіотики*, але ще навіть на початку ХХ століття про таку панацею можна було тільки мріяти. У той час лікарі й бактеріологи думали, що подальший прогрес у лікуванні буде пов'язаний зі спробами змінити, підсилити або доповнити властивості імунної системи. Існуючі вакцини й вчення про фагоцити Іллі Мечникова були розраховані на підвищення імунітету



Олександр Флемінг

організму в боротьбі із хворобою.

Відкриття в 1910 році сальварсану Паулем Ерліхом лише підтвердило ці припущення. Ерліх був зайнятий пошуками того, що він називав «магічною кулею», маючи на увазі під цим засіб винищення бактерій, які потрапляли в організм, не завдаючи шкоди тканинам організму хворого й навіть взаємодіючи з ними.

Лабораторія Алмрота Райта при лікарні св. Марії у Лондоні була однією з перших, що одержали зразки сальварсану для перевірки. В 1908 році Олександр Флемінг (1881—1955)

розпочав експерименти з препаратом, використовуючи його також у приватній медичній практиці для лікування сифілісу. Прекрасно усвідомлюючи всі проблеми, пов'язані із сальварсаном, він, проте, вірив у можливості хіміотерапії.

Після вступу Великої Британії в Першу світову війну Флемінг брав участь у воєнних діях. Працюючи в лабораторії досліджень ран, він разом з Райтом намагався визначити, чи є від антисептиків яка-небудь користь при лікуванні інфікованих ран. Щодня лікарі мали справу із зараженнями ран, що призводять до сепсису, правцю й гангрені. Флемінг обстежував інфіковані рани і обґрунтував неефективність існуючих антисептиків. В основному для знезаражування відкритих ран застосовувалися карболова або борна кислота, які вбивають лейкоцити, порушуючи тим самим природний захисний бар'єр організму, що сприяє виживанню бактерій у тканинах і інфікуванню ран. Ім'я Флемінга стало відомим у зв'язку з його відкриттям.

У 1922 році після невдалих спроб виділити збудника звичайних простудних захворювань Флемінг абсолютно випадково відкрив лізоцим — фермент, що вбиває деякі бактерії й не заподіює шкоди здоровим тканинам. На жаль, перспективи медичного використання лізоциму виявилися досить обмеженими, оскільки він був ефективним засобом проти бактерій, що не є збудниками захворювань, і зовсім неефективним проти хвороботворних організмів. Це відкриття, однак, спонукало Флемінга вдатися до пошуків інших антибактеріальних препаратів, які були б нешкідливі для організму людини.

Коли помер О. Флемінг, то його поховали в соборі св. Павла в Лондоні — поруч із найшанованішими британцями. У Греції, де бував учений, день його смерті оголосили днем національної жалоби. А в іспанській Барселоні всі квіткарки міста висипали оберемки квітів зі своїх кошиків до меморіальної дошки з його ім'ям.

плісеневий грибок *Penicillium notatum*, що гнітив висіану культуру бактерії стафілококу. Бульйон, на якому розрослася цвіль... отримав чітко виражену здатність придушувати ріст мікроорганізмів, а також бактерицидну й бактеріологічну властивості стосовно багатьох розповсюджених патогенних бактерій». Отриману речовину Флемінг назвав *пеніциліном*.

Подальші дослідження дали ряд важливих відомостей про пеніцилін. Флемінг писав, що це «ефективна антибактеріальна субстанція... що виражено діє на піогенні коки й палички дифтерійної групи... Пеніцилін навіть у величезних дозах не токсичний для тварин... Можна припустити, що він виявиться ефективним антисептиком при зовнішній обробці ділянок, уражених чутливими до пеніциліну мікробами, або при його введенні усередину». Флемінг не зміг виділити речовину в придатному для ін'єкцій вигляді, тому про нього могли забути, якби не відкриття лізоциму. Саме це відкриття змусило в 1938 році оксфордських учених біохіміка Ернста Бориса Чейна і лікаря-патолога Хоурда Волтера Флорі зайнятися вивченням терапевтичних властивостей пеніциліну. Препарат виділили і піддали клінічним випробуванням. У 1945 році шотландський мікробіолог Олександр Флемінг разом з Чейном і Флорі був відзначений Нобелівською премією з фізіології й медицини «за відкриття пеніциліну і його цілющого впливу при різних інфекційних хворобах». У Нобелівській промові Флемінг зазначив, що «феноменальний успіх пеніциліну привів до інтенсивного вивчення антибактеріальних властивостей плісень та інших нижчих представників рослинного світу. Лише деякі з них мають такі властивості».

Випадкове відкриття пеніциліну в чашці з бактеріальною культурою стало сенсацією, що здатна вразити уяву будь-якої людини. Поява пеніциліну, а потім інших антибіотиків зробила справжню революцію в лікуванні інфекційних хвороб.

І якщо пеніцилін та антибіотики зробили переворот у терапії, то таке вагоме відкриття, як *наркоз*, зробив його в хірургії. Люди з давніх-давен шукали засіб для перемоги над болем і що тільки не використовували, щоб угамувати її. Однак наркотичні

У 1928 році Флемінг зробив відкриття, що привело до кардинальних змін у підході до лікування інфекційних хвороб. Одного разу, розглядаючи чаші з культурами, він виявив дуже рідкий

речовини (опій, індійські коноплі, алкоголь) у безпечних дозах знеболювання не викликали, а у великих — часто призводили до смерті; продавлювання нервів або судин шиї, різке охолодження за допомогою льоду й снігу — все це не давало бажаного полегшення й не стало панацеєю «божественного мистецтва знищувати біль» (Гіппократ). Тільки наприкінці XVIII століття стрімкий розвиток хімії дав змогу протягом короткого періоду зробити кілька гігантських кроків до заповітної мети.

У 1800 році великий англійський хімік, у минулому учень хірурга, Гемфрі Деві, поставивши досліди на кішці, а потім і на собі, повідомив, що вдихання закису азоту викликає сп'яніння й несприйнятливість до болю. Через вісімнадцять років Майкл Фарадей, що був учнем Деві, установив, що пари сірчаного ефіру можуть привести до такого самого стану, як і закис азоту. Ще через десять років лондонський хірург Гікман повторив досліди Деві. Цей лікар-професіонал першим зрозумів важливість цього відкриття й повідомив про нього Паризьку академію хірургії. Однак ніхто з медиків розробки вчених не підтримав.

«Звеселяючий газ», як назвав Деві закис азоту (крім знеболювання він міг викликати приступи нестримного сміху), з успіхом уживався лише бродячими артистами й фокусниками. У 1844 році на ярмарку в американському містечку Хартфорд про нього довідався зубний лікар Горасій Уелс. Наступного дня він попросив іншого стоматолога видалити йому зуб, однак перед операцією надихався в наметі мандрівного проповідника закису азоту. Ефект перевершив усі очікування. Те, що Уелс що стоїть на порозі нової ери у медицині, зрозумів відомий бостонський хірург Уоррен, що надав йому свою клініку для демонстрації публічного дослід. Однак усе закінчилося провалом: тільки дантист став тягти зуб, «приспаний» пацієнт закричав. Після ще ряду невдач Горасій Уелс покінчив із собою, так і не одержавши заслуженого титулу першовідкривача наркозу, а успішне використання «звеселяючого газу» знову почалося через двадцять років.

«Батьком» же хірургічного наркозу вважається зубний технік Вільям Мортон (1819—1868), який вивчав медицину в доктора Чарлза Джексона, що був також професором хімії. Джексон багато чого розповів учневі про дію ефіру, бо він провів, зокрема, вдалий дослід на собі, а також сконструював прилади для вдихання пари ефіру. Довідавшись у довірливого наставника про всі нові відомості щодо ефіру, Мортон робив досліди на собаках і навіть кілька разів присипляв себе. Старанно зберігаючи таємницю, він ішов до своєї мети. Восени 1846 року, після особливо успішного дослід на собі, він упевнено запропонував свої послуги вищезгаданому Уоррену. Шістнадцятого жовтня 1846 року відбулася

подія, що означала революцію в хірургії, — тоді була зроблена перша операція під наркозом. Доктор Уоррен безболісно видалив пухлину на шиї пацієнта. З того часу ефірний наркоз рішуче покрокував світом і вже 7 лютого 1847 року добрався до Росії.

Першу в Росії операцію під ефірним наркозом зробив Федір Іванович Іноземцев у Москві, що видалив уражену раком грудну залозу. Тільки за один рік у Росії було зроблено 690 операцій під наркозом, причому 300 з них зробив великий Пирогов. Крім звичного використання ефірного наркозу, він також намагався, наприклад, досягти знеболювання не тільки шляхом вдихання пари ефіру, але й іншими способами — введенням наркозу в артерії, вени, трахею, пряму кишку. Він стрімко обганяв час, і деякі запропоновані ним методи введення наркозу в організм почали застосовувати на практиці лише через кілька десятиліть.

Однак уже в листопаді 1847 року Сімпсон доповів про відкриття нового виду наркозу — хлороформу, який був відкритий французьким хіміком Еженом Суберіном. Сімпсон почав використовувати хлороформ для знеболювання пологів. Хлороформ здався багатьом «спокусливішим» за ефір: його заколислива дія була сильнішою, сон наставав швидше, для його застосування не потрібні були спеціальні апарати — лише хустка або шматок марлі, змочена в розчині, що прикладалися до рота й носа.

Хлороформний наркоз покрокував по світу ще швидше, ніж ефірний, і вже наприкінці грудня 1847 року за хлороформ узявся Пирогов. Він напророкував цьому наркозу велике майбутнє і мав рацію: знеболювання хлороформом протрималося довгий час, поки не були знайдені більш безпечні методи знеболювання. В наш час практично кожна складна операція робиться з наркозом.

У другій половині XIX століття вчені посягнули на найсвятіше — вивчення людського мозку. Його робота тривалий час залишалася для людства нерозкритою таємницею. Не тільки священнослужителі, але й учені, що сповідували ідеалізм, пов'язували всі психічні процеси в організмі із загадковою душею, яка була «забороненим місцем» для наукових досліджень. Першим науковцем, який вторгся у таємниці розуму, став «батько російської фізіології» Іван Михайлович Сеченов (1829—1905).

У 1963 році М. О. Некрасов, знаменитий російський поет і редактор журналу «Сучасник» попросив Сеченова написати статтю про нагальні питання природознавства. Однак стаття не з'явилася на сторінках літературного журналу, бо її заборонила царська цензура. У скороченому й зміненому вигляді її опублікували спочатку в науковому журналі «Медицинний вісник», а потім видали окремою брошурою. Цензори сподівалися, що стаття залишиться



Іван Михайлович Сеченов

непоміченою, однак практично весь тираж брошури був вилучений із продажу, проти автора порушили судову справу, а петербурзький митрополит радив заслати його на Соловки. Та зупинити поширення статті було вже неможливо, бо до того часу її вже опублікували у Франції та Німеччині.

Що ж так занепокоїло царських чиновників? У «Рефлексах головного мозку» (так була названа брошура) Сеченов уперше у світі відхилив завісу над таємницею психічних явищ. Він довів, що таємницю свідомості можна розкрити методами природничих наук.

Найважливішим результатом досліджень Сеченова було відкриття так званого *центрального гальмування* — особливих механізмів у головному мозку жаби, що придушують або пригнічують рефлекси.

Він уперше показав, що все складне психічне життя людини, її поведінка залежать від зовнішніх подразників, а не від загадкової душі. Усяке подразнення викликає ту чи іншу відповідь нервової системи — *рефлекс*. Рефлекси бувають прості й складні. У ході дослідів вчений виявив, що мозок може затримувати збудження. Це зовсім нове явище назвали «сеченівським гальмуванням». Воно дало змогу визначити, що вся нервова діяльність складається із взаємодії двох процесів — збудження та гальмування. Сеченов експериментально довів, що якщо у собаки «виключити» нюх, слух і зір, то вона увесь час спатиме, оскільки в її мозок не надходитимуть ніякі сигнали із зовнішнього середовища. Та Сеченов зовсім не зводив людську психіку тільки до рефлексів: це поняття охоплювало лише загальну форму й механізм психічних процесів. А зміст психіки, твердив учений, являє собою відбиття об'єктивного світу, продукт пізнавальної діяльності людини.

Створивши вчення про рефлекси головного мозку та поширивши поняття рефлексу на діяльність вищого відділу нервової системи, Сеченов поклав початок природничо-науковому обґрунтуванню матеріалістичної теорії відбиття. Його воістину революційне вчення стало основою всього подальшого розвитку фізіології психічних процесів, фундаментом, на якому виникло ще одне

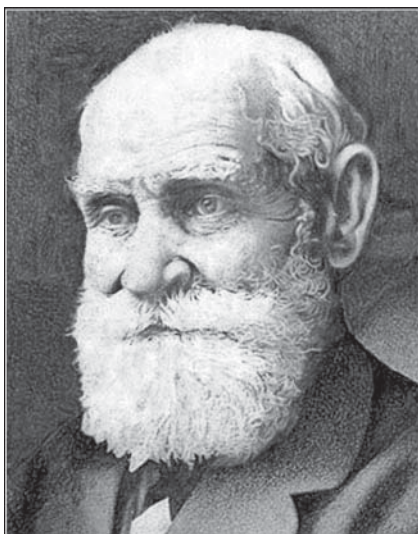
велике досягнення науки — вчення І. П. Павлова про вищу нервову діяльність.

На спадкоємний зв'язок сеченовської теорії і вчення Павлова неодноразово вказували вітчизняні та закордонні фізіологи, і передусім сам Іван Петрович. Роки його навчання були позначені бурхливим розвитком передової суспільної думки в Росії. Одного разу йому до рук потрапила стаття Д. Писарева, де були слова: «Всеомгутне природознавство тримає в руках ключ до пізнання всього світу». У семінарії, де він ще тоді вчився, повторювали про безсмертя душі й загробне життя,

а в літературі закликали відмовитися від сліпої віри й вивчати найважливіші життєві проблеми. І після захоплюючої монографії Сеченова «Рефлекси головного мозку» і популярної книжки англійського вченого Дж. Льюїса «Фізіологія повсякденного життя» Павлов «занедужав на рефлекси», став мріяти про наукову діяльність і почав вивчати медицину.

Дослідницьку діяльність він почав рано. Ще студентом четвертого курсу Павлов досліджував нерви в легенях жаби, виконав першу наукову працю про вплив гортанних нервів на кровообіг. А за його наукову працю з фізіології нервів підшлункової залози рада університету нагородила юнака золотою медаллю. Щоправда, захоплений дослідженнями студент практично забув, що на носі випускні іспити. Довелося писати прохання, щоб залишитися «на другий рік». У 1875 році Павлов блискуче закінчив університет, одержав учений ступінь кандидата природничих наук і продовжив навчання в Медико-хірургічній академії, вступивши відразу на третій курс, але «не з метою стати лікарем, а для того, щоб згодом, маючи ступінь доктора медицини, мати право посісти кафедру фізіології». Йому було тоді 26 років.

У 1876—1878 роках Павлов самостійно виконав низку цінних робіт з фізіології кровообігу. У цих дослідженнях були зачатки його геніального наукового методу вивчення функцій організму в їхній природній динаміці в ненаркотизованому цілісному організмі. У результаті численних дослідів Павлов навчився вимірювати тиск крові собак, не присипляючи їх наркозом і не прив'язуючи



Іван Петрович Павлов

до дослідного стола. Він розробив і здійснив свій оригінальний метод уживляння хронічної фістули сечоводів у зовнішній покрив живота. За роботи, зроблені за час навчання, Павлов одержав другу золоту медаль, а закінчивши Академію в грудні 1879 року — диплом лікаря з відзнакою. Дослідження молодого вченого з фізіології кровообігу привертали все більшу увагу досвідчених фізіологів і лікарів.

У 1883 році Павлов блискуче захистив докторську дисертацію про відцентрові нерви серця. Він визначив, що існують особливі нервові волокна, що впливають на обмін речовин у серці й регулюють його роботу. Цими дослідженнями був покладений початок ученню про *трофічну нервову систему*.

За роки роботи у своїй лабораторії вчений показав свою колосальну працездатність, волю й невичерпну енергію. Він зумів закласти міцний фундамент своїх майбутніх досліджень фізіології травлення: виявив нерви, що регулюють секреторну діяльність підшлункової залози, і поставив свій дослід, що став класичним, із уявною годівлею собак. Іван Петрович вважав, що експерименти на тваринах необхідні при розв'язанні багатьох складних і неясних питань клінічної медицини. Зокрема, він прагнув з'ясувати властивості й механізм терапевтичної дії нових або вже застосовуваних у медицині лікарських препаратів рослинного й іншого походження.

У 1890 році було відкрито Імператорський Інститут експериментальної медицини, створений на базі Пастерівської станції за матеріальної підтримки відомого мецената — принца Ольденбурзького. Саме він запросив Павлова для організації відділу фізіології, яким учений потім керував упродовж 46 років. Саме тут були виконані класичні роботи Павлова з фізіології головних травних залоз, що принесли йому світову славу. Метод фістул для отримання шлункового соку, розроблений Павловим, був найбільшим досягненням і давав змогу досліджувати роботу залоз за різних умов і складу їжі. Операція не порушувала нормальних зв'язків організму із середовищем і водночас уможливлювала проведення тривалих спостережень.

Усі свої дослідження Павлов проводив на собаках. Кожна з піддослідних тварин виходжувалася після операції не менш ретельно, ніж хвора людина. Так, при вивченні такого важливого органа, як підшлункова залоза, і створенні маленького шлунка для чистоти експерименту вченому за півроку знадобилося три десятки собак і жодна з них не загинула. Наочним доказом правоти ідей вченого став пес Дружок, що прославився на весь світ. Це була справжня наукова перемога Павлова, за якою пішла ціла серія блискучих експериментів та відкриттів. Учений розповів про

3 ініціативи Івана Петровича перед будинком інституту був поставлений пам'ятник собаці — данина поваги вірному другові, помічникові й повноправному соратникові по роботі. Напис у його підніжжя говорить: «Нехай собака, помічник і друг людини з доісторичних часів, приноситься в жертву науці, але наша гідність зобов'язує нас, щоб це відбувалося неодмінно й завжди без непотрібного катування. Іван Павлов».

свої досліді, спостереження й прийоми роботи в книзі «Лекції про роботу головних травних залоз» (1897). За цю працю Іван Петрович став четвертим лауреатом Нобелівської премії за видатні досягнення в області вивчення фізіології

травлення (1904) і першим у галузі природничих наук. До нього цієї нагороди вдостоювалися винятково лікарі. Робота фізіолога була оцінена як «та, що принесла найбільшу користь людству». Вона обезсмертила ім'я Павлова й прославила російську науку.

Коли всім здавалося, що вчений уже досяг вершини науки, він раптом зробив крутий поворот від вивчення травлення до психіки. Його застерігали: чи не пізно в п'ятдесят три роки братися за нову проблему, але Павлов був непохитний і переключив усіх співробітників на дослідження нервової системи. Він «поліз у собачу душу», оскільки «психічне» слиновиділення заважало чистоті дослідів. Учений розумів, що психіка не вичерпується нижчими безумовними рефlekсами. «Чужинець у неврології» провів революційний експеримент (що теж став нині класичним) з голодним собакою, що повинен був реагувати на звук дзвіночка, який асоціюється з їжею. Якщо собака бачить їжу (безумовний подразник) і при цьому чує дзенькіт дзвіночка (умовний подразник), то при багаторазовому повторенні комбінації «їжа + дзвіночок» у корі головного мозку собаки встановлюється нова рефлeкторна дуга. Після цього слина виділяється, щойно собака почує звук дзвіночка. Так Іван Петрович відкрив *умовні рефлeкси* (термін введений самим Павловим). Безумовні рефлeкси однакові у всіх тварин виду, а умовні — різні.

Така система сигналів, що формується в корі великих півкуль головного мозку, — *перша сигнальна система* — є й у тварин, і в людини. Але людина володіє ще однією системою сигналізації, більш складною й досконалою. Вона виробилася в неї в процесі тисячолітнього історичного розвитку, і саме з нею пов'язані корінні розходження між вищою нервовою діяльністю людини й будь-якої тварини. Павлов назвав її *другою сигнальною системою*. Вона виникла в людей у зв'язку із суспільною працею й пов'язана з мовою.

Для чистоти проведення експериментів з вироблення умовних рефлeксів в 1913 році було побудовано спеціальний будинок із

двома вежами, що їх назвали «вежами мовчання». За допомогою розробленого методу вивчення умовних рефлексів Павлов визначив, що в основі психічної діяльності лежать фізіологічні процеси, що відбуваються в корі головного мозку. Дослідження ним фізіології вищої нервової діяльності (першої та другої сигнальних систем, типів нервової системи, локалізації функцій, системності роботи великих півкуль мозку і т. ін.) дуже вплинули на розвиток фізіології, медицини, психології й педагогіки.

Тільки в 1923 році Павлов зважився випустити у світ працю, що так і була названа — «Двадцятилітній досвід об'єктивного вивчення вищої нервової діяльності (поведінки) тварин». Відкриття Павлова в галузі вищої нервової діяльності — це не просто блискуча сторінка, вписана в історію медицини, — це ціла епоха.

Відомий американський фізіолог У. Кеннон писав: «У вченні Івана Петровича Павлова мене завжди вражали два явища. Надзвичайний примітивізм експерименту й можливість саме за допомогою цього примітивізму побачити наскрізь всю безодню людської психіки й встановити основні принципи її роботи. З одного боку — така-то кількість крапель слини за таку-то кількість хвилин, а з другого — наріжні камені фізіології вищої нервової діяльності. Аналог Павлову у фізикохімії — Фарадей, що обґрунтував електродинаміку за допомогою шматочка заліза, дроту й магніту. Обидва, звичайно, — генії без усяких застережень, що проникнули в природу речей за допомогою по-дитячому наївних способів. У цьому — їхня велич і безсмертя. Прапори фізіології всіх країн схилялися до його ніг. На всіх континентах земної кулі знають ім'я Павлова, знають навіть діти, знають його портрет — людини з білою бородою, хитрого й найрозумнішого російського мужика».

З 1900 року починається історія *генетики*. У цей рік троє вчених — голландець Гуго де Фріз, німець Карл Корренс і австрієць Еріх Чермак — незалежно один від одного встановили важливі закономірності спадкування ознак у потомстві гібридів. Як виявилось, вони відкрили вже сформульовані в 1865 році Грегором Йоганном Менделем (1822—1884) закони спадковості, викладені ним у статті «Досліди над рослинними гібридами».

Основоположник вчення про спадковість був сином небагатого селянина, і хоч він цікавився науками, але був змушений піти в монастир під ім'ям брата Грегора. Під кінець життя Мендель став прелатом — настоятелем монастиря в місті Брюнне Австрійської імперії (нині — Брно). Сучасники свідчать, що виконання релігійних обов'язків його обтяжувало, зате він із задоволенням викладав фізику й біологію в реальному училищі й ставив загадкові досліди над рослинами на крихтній ділянці під вікнами своєї

келії. Нині генетики вважають цю ділянку своєю святинею: на ній Мендель за вісім років виконав унікальні досліді з гібридизації різних сортів гороху і в результаті відкрив закони, які лягли в основу генетики — науки про спадковість і мінливість організмів.

Для своїх перших експериментів Мендель обрав рослину двох сортів, що чітко розрізнялися за якою-небудь однією ознакою, наприклад за кольором насіння (таке схрещування називається багатогібридним). У гороху насіння могло бути двох кольорів — зеленого й жовтого. Жовте насіння завжди



Грегор Йоганн Мендель

давали рослини з жовтого насіння, а зелене — з зеленого. У такий спосіб Мендель переконався, що обрані ним рослини є чистими лініями (тобто їхнє потомство не дає розщеплення) і придатні для проведення дослідів з експериментального схрещування.

Досліді показали, що в клітинах організмів є якісь зачатки, що визначають ознаки організму й передаються спадково. Мендель назвав їх факторами, пізніше вони дістали назву *гени*. Один фактор організм одержує від батька, інший — від матері. Гени різняться за силою впливу на ознаки їхнього потомства, які воно одержало. «Сильні», *домінантні* гени придушують дію «слабких», *рецесивних*. Наприклад, якщо ми схрестимо, як Мендель, горох з жовтими зернами з горохом із зеленими зернами, перше покоління гібридів буде мати жовті горошини (домінантна ознака — жовтий колір). Це *Перший закон* Менделя — однаковість гібридів першого покоління.

Відповідно до *Другого закону*, у наступному поколінні гібридів вже з'являються рослини із зеленими горошинами, причому в строгому чисельному співвідношенні — приблизно 1:3. Мендель показав, що це пояснюється випадковим розподілом генів при утворенні статевих клітин і випадковим, імовірнісним злиттям гамет при заплідненні.

Третій закон Менделя — закон незалежного комбінування генів: у потомстві різні гени сполучаються випадково, утворюючи різноманітні комбінації. Саме тому можливі випадки, коли дитина успадковує, наприклад, очі матері й батьківський ніс.

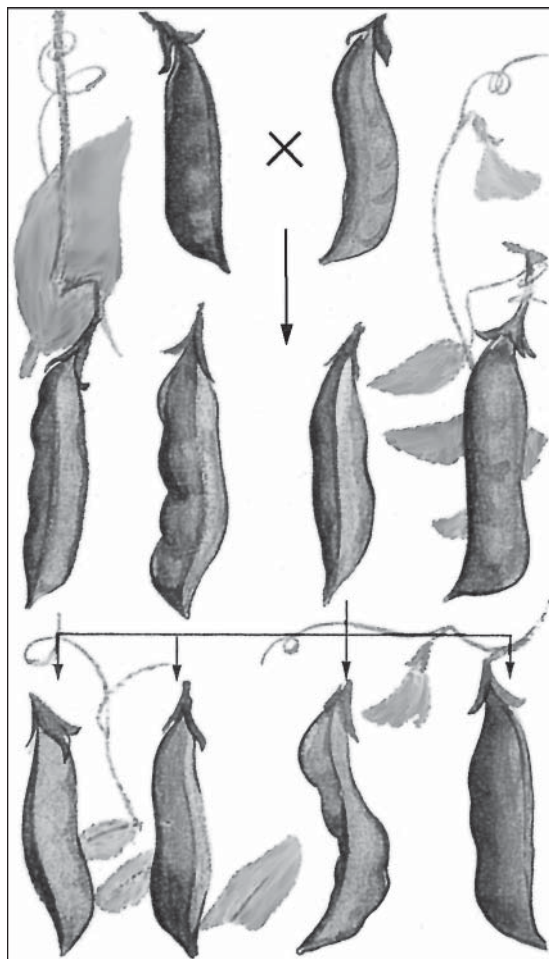


Схема багатогібридного схрещування сортів гороха

Слід сказати, що Менделю пощастило стати першовідкривачем у цій новій галузі знань завдяки особливостям його роботи. Адже й до нього багато вчених проводили подібні експерименти, але його дослідження можуть бути визнані еталонними, бо він, по-перше, вибрав вдалий об'єкт дослідження — горох городній; працював тільки з рослинами чистих ліній; вивчав спадковість ознак гібридів не тільки першого, але й наступних поколінь. До того ж Мендель першим застосував математичний метод підрахунку результатів спадковості. Але слава й пошана прийшли до вченого вже після смерті — своїми відкриттями він випередив час на 35 років.

І хоча ген тоді ще

продовжував залишатися гіпотетичною одиницею спадковості, сумніви в його матеріальності остаточно зникли.

Головною особливістю наступного періоду становлення генетики було з'ясування структури речовин, що лежать в основі спадковості. У результаті досліджень вчений зміг визначити зв'язок між спадкоємними факторами й зміною хромосом у процесі ділення клітин. Так був покладений початок розробці *хромосомної теорії спадковості*, провідна роль у створенні якої належить американському біологу Томасу Ханту Моргану (1866—1945). Колеги з Колумбійського університету в 1908 році були дуже здивовані, коли він, маючи вже неабияку популярність як ембріолог, вирі-

шив зайнятися модною наукою — генетикою. Однак роботи Морган з генетики були підготовлені багатолітніми дослідженнями клітинного ядра.

Спочатку він хотів перевірити, чи справедливі висновки Менделя: щодо існування в клітинах спадкоємних факторів — генів, що передаються від покоління до покоління у випадкових комбінаціях. Морган звичайно працював із кроликами, але грошей на утримання великого віварію йому не дали. Тому вибір об'єкта експериментів — малесенької плодової мушки дрозофіли — був, напевно, його найбільшим успіхом (над цією мушкою досі часто ставлять досліди). Дрозофілу легко розводити в лабораторії в пробірках на засіяному дріжджовими клітинами розтертих бананах або манній каші з родзинками, за рік вона дає до тридцяти поколінь і в кожному — до тисячі нащадків! Приспаних ефіром мушок легко вивчати під слабким збільшенням, відбирати особин, що змінилися, а потім схрещувати.

І відкриття з'явилися дуже скоро. Взагалі, Морган не тільки підтвердив відкриття Менделя, але й істотно доповнив їх. Були виявлені ознаки, які успадковувалися, не розщеплюючись, а комплексом, *групою зчеплення*. З'ясувалося, що в дрозофіли три великі групи зчеплення, які поєднують багато ознак, і одна маленька. Але стільки ж у неї й хромосом у статевій клітині — гаметі. Тож групи зчеплення — це хромосоми. Далі Морган показав, що гени в хромосомах розташовані лінійно, як намистини на нитці. Він визначив і порядок розташування генів у хромосомах.

І нарешті, правило зчеплення виявилось не абсолютним. Хромосоми, як помітили цитологи, при мейозі утворюють пари, перехрещуються й міняються частинами. Це явище назвали *кросинговером*. Так був з'ясований цитологічний механізм законів Менделя. Відкриття Моргану привели до остаточного завершення в загальних рисах хромосомної теорії спадковості. Кожне таке відкриття по праву можна назвати найвидатнішим. Але не тільки вони принесли Томасу Моргану всесвітню славу. З його лабораторії вийшла у світ та генетика першої половини



Томас Хант Морган

XX століття, яку ми тепер називаємо класичною. Морган дав генетиці об'єкт досліджень і набір їх методів — і в цьому його найбільша заслуга перед наукою.

Незважаючи на величезні успіхи генетики, до 40-х років XX століття вчені не могли з'ясувати, яка ж речовина є матеріальним носієм спадковості. Твердження, що її носієм є білок, було спростовано дослідом з вивчення передачі спадкоємних ознак від однієї бактеріальної клітини до іншої. В 1928 році англійський учений Френсіс Гріффіт, вивчаючи трансформацію у хвороботворного (вірулентного) і нехвороботворного штамів пневмокока, зробив відкриття, що мало важливе значення для вирішення цієї проблеми. Він виявив, що частина генетичного матеріалу із хвороботворних бактерій проникнула в нехвороботворні й передала їм здатність до зараження. Однак природа цього генетичного матеріалу залишалася невідомою, і її змогли відкрити О. Т. Евері, К. М. Маклеоду й М. Маккарті з Рокфеллерівського інституту. Вони виділили з вірулентних пневмококів *дезоксирибонуклеїнову кислоту (ДНК)*, що може трансформувати невірулентні бактерії у вірулентні, оскільки є носієм генетичної інформації. Так було відкрито й ідентифіковано речовину, що визначає спадкоємні властивості організму. Ця гіпотеза була підтверджена в 1952 році А. Херші й М. Чейз. Хоч і було зрозуміло, що ДНК контролює основні біохімічні процеси, що відбуваються в клітині, проте ні структура, ні функція молекули не були відомі.

І таємниця ДНК залишалася нерозкритою доти, поки в Кавендишській лабораторії в 1951 році не зустрілися фізик, що працював в галузі молекулярної біології, Френсіс Харрі Комптон Крік і біохімік Джеймс Дьюї Уотсон (Вотсон). Крік намагався знайти хімічну основу генетики, що, як він припускав, могла бути закладена в ДНК; а Уотсон вивчав біохімічні властивості ДНК бактеріофага, однак насправді хотів довідатися більше про справжню структуру молекул ДНК. Вони стали співпрацювати в цій галузі.

Вченим було відомо, що існує два типи нуклеїнових кислот — ДНК і *рибонуклеїнова кислота (РНК)*, кожна з яких складається з моносахариду групи пентоз, фосфату й чотирьох азотистих основ: аденіну, тиміну (у РНК — урацилу), гуаніну й цитозину. Протягом наступних восьми місяців Уотсон і Крік узагальнили всі отримані результати і в лютому 1953 року зробили повідомлення про структуру ДНК. Місяцем пізніше вони створили тривимірну модель молекули ДНК, зроблену з кульок, шматочків картону й дроту.

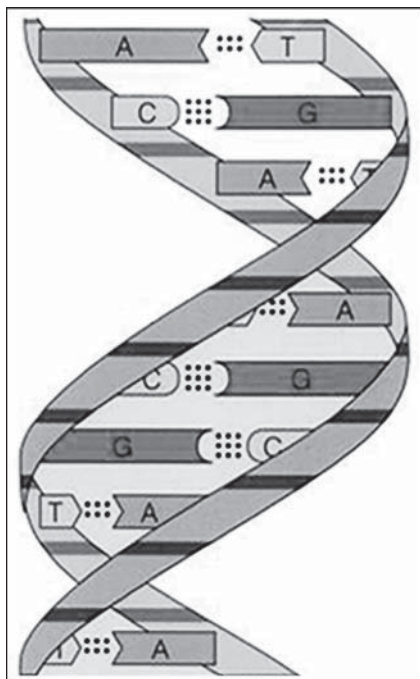
Відповідно до моделі Кріка-Уотсона, ДНК є подвійною спіраллю, що складається із двох ланцюгів дезоксирибозофосфата, з'єднаних парами основ аналогічно сходинкам сходів. За

допомогою водневих зв'язків аденін з'єднується з тиміном, а гуанін — із цитозином. За допомогою цієї моделі будь-хто міг простежити реплікацію самої молекули ДНК. Два ланцюги молекули розділяються в місцях водневих зв'язків на зразок відкриття застібки-блискавки, після чого на кожній половині колишньої молекули ДНК відбувається синтез нової. Послідовність основ діє як матриця, або зразок, для нової молекули.

У 1953 році Крік і Уотсон повністю завершили моделювання ДНК. Це дало їм змогу разом з М. Уілкінсом, що на основі рентгеноструктурного аналізу пояснив структуру молекули ДНК, через дев'ять років розділити Нобелівську премію 1962 року з фізіології й медицини «за відкриття, що стосуються молекулярної структури нуклеїнових кислот і їхнього значення для передачі інформації в живих системах».

До 1961 року були відкриті три типи РНК: інформаційна, рибосомна й транспортна. Крік і його колеги запропонували спосіб зчитування генетичного коду. Відповідно до теорії Кріка інформаційна РНК одержує генетичну інформацію із ДНК у ядрі клітини й переносить її до рибосом (місць синтезу білків) у цитоплазмі клітини. Транспортна РНК переносить у рибосоми амінокислоти. Інформаційна й рибосомна РНК, взаємодіючи одна з одною, забезпечують поєднання амінокислот для утворення молекул білка в правильній послідовності. Стало відомо, що генетичний код становлять триплеті азотистих основ ДНК і РНК для кожної з 20 амінокислот. Гени складаються із численних основних триплетів, які Крік назвав *кодонами*.

Наступним сенсаційним відкриттям стала можливість клонування. Слід зазначити, що вперше про це стало відомо в далекому 1948 році в СРСР. Однак у країні на той момент все, що було пов'язане з генетикою, було оголошено лженаукою, а «менделізм і морганізм» — ерессю. Тому стаття радянського ембріоло-



Фрагмент ланцюжка ДНК

У 2005 році китайськими генетиками вперше у світі було клоноване порося, що з'явилося на світ без будь-яких генетичних відхилень.

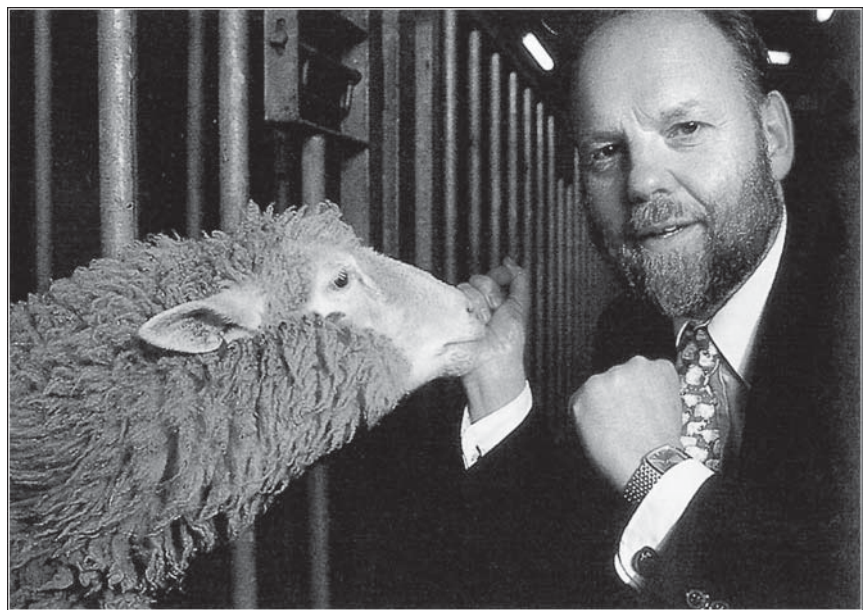
га Георгія Вікторовича Лопашова про трансплантацію ядер у яйцеклітину жаби так і

не вийшла друком. Ще б пак! Там доводилася провідна роль ядра й хромосом, що знаходяться в ньому, в індивідуальному розвитку організмів. І, як це часто траплялося в історії російської науки, пріоритет дістався американським ембріологам Брігге та Кіну, що виконали в 50-ті роки минулого століття подібні досліді.

Подальше вдосконалювання методики пов'язане із Джоном Гердоном (Велика Британія). У деяких його дослідіх яйцеклітини із чужим ядром розвивалися до досить пізніх стадій, щоправда, особини були такими кволими і дефектними, що навряд чи можна було говорити про абсолютно точне копіювання. Однак навколо досліджень Гердона піднявся великий галас, і саме тоді вперше заговорили й про клонування людини.

Застосувавши метод соматичної гібридизації, тобто перенос чужорідного ядра за допомогою злиття яйцеклітини із соматичною клітиною, ядро якої було потрібно помістити в яйцеклітину, Ян Вільмут у лютому 1997 року клонував ягничку Доллі в Рослінському інституті в шотландському місті Единбурзі. Як стало відомо пізніше, тільки один дослід з 236 виявився вдалим: Доллі містила генетичний матеріал дорослої вівці, яка померла три роки тому.

Але перспективи подальшого розвитку клонування й життя клонів слід оцінювати з обережністю. Одержати абсолютно точну копію даної конкретної тварини дуже складно. Принаймні набагато складніше, ніж це може здатися при першому знайомстві із проблемою. Головна причина полягає в тому, що структурно-функціональні зміни ядер у ході індивідуального розвитку тварин досить глибокі й що вище на ієрархічній еволюційній градації стоїть тварина, то більша спеціалізація в організмі, і глибше й сутужніше оборотні зміни. Навіть у жаби, як істоти менш розвиненої, ніж ссавці, відсоток успіху при клонуванні невисокий — один-два відсотки. Клонування людини ж офіційно заборонено в усіх країнах світу постановою ООН. Та й до того ж, ґрунтуючись на зроблених висновках, фахівці вважають, що на даному рівні науки повне клонування людини взагалі неможливе. «Багато галасу з нічого, — так охарактеризував К. Вентер, керівник проекту з розшифровки генома людини, суперечки навколо клонування. — Можна створити людину, яка буде виглядати, як ваш близнюк, але ймовірність того, що її характер і інтереси будуть такі самі, як і у вас, близька до нуля. “Ксерокопіювати” людей неможливо», — констатує вчений.



Ян Вільмут та ягничка Доллі

Однак саме Крейг Вентер у 1992 року створив і очолив Інститут геномних досліджень (скорочено ТИГР). Відкриваючи цей незалежний центр, він пообіцяв першим розшифрувати генотип людини, і справді — вже у 2001 році там змогли отримати послідовність двох мільярдів знаків генотипу. Така велика швидкість розшифровки можлива завдяки тому, що команда Вентера використовує метод «кулеметної послідовності». Вибуховим способом весь генотип розділяється на сімдесят мільйонів фрагментів. Далі машиною вибудовується послідовність, а порядок генотипу обробляється суперкомп'ютером, яким керує процесор потужністю в 1,3 трильйона операцій у секунду.

У 2001 році Міжнародний консорціум, у який ввійшли крім провідного учасника цього проекту — біотехнологічної компанії «Сілера джиномікс» — 16 організацій з Великої Британії, США, Франції, Німеччини, Японії й Китаю, оприлюднив результати цієї колосальної роботи. Вчені визначили, що генетичну програму молекули ДНК становлять 3,2 мільярда нескінченно повторюваних чотирьох пар азотистих основ аденіну, тиміну, цитозіну й гуаніну. Але найнесподіванішим став той факт, що кількість генів у спадкоємній програмі людини виявилось не 80—100 тисяч, як очікувалося, а лише 30—40 тисяч. Якщо порівняти це з кількістю генів дощового хробака (18 000) або плодової мушки (13 000), то різниця буде не надто великою! При цьому в різних живих

організмів виявлені подібні гени, що тільки підтверджує теорію молекулярної евононії — поступової еволюції людини від найпростіших організмів.

Іншим сюрпризом, що завів біологічну науку в черговий глухий кут, стала наявність так званої ДНК, «що мовчить». І раніше було відомо, що вздовж ланцюга ДНК є ділянки, які не видають ніякої інформації для виробництва білків. Генетики називали їх «генетичним сміттям». І от виявилось, що такі ділянки займають 95 відсотків усієї ДНК, і все ж таки вони несуть у собі раніше не виділену генетичну інформацію. Одні біологи висувають гіпотезу, що саме в них схована еволюційна інформація. Інші гадають, що на ці ділянки покладена важлива роль керування генами.

Крейг Вентер вважає, що розшифровка генома людини допоможе краще зрозуміти справжні причини багатьох захворювань. Це відкриття уможливить у недалекому майбутньому усувати спадкоємні недуги, а також створювати нові ліки. Нові засоби лікування зможуть «лагодити» або замінити «погані гени». При подібному індивідуальному підході до кожної людини можна буде продовжувати людське життя. Та не всі настільки оптимістичні, бо може знову набрати сили євгеніка, послідовники якої вважають, що право на життя має тільки людина без фізичних і розумових відхилень. Поява дітей з «поганими» генами може відразу поставити немовлят у розряд «генетичних ізгоїв». Уже нині йдуть розмови про «генну дискримінацію».

Але все ж таки сенсаційне наукове відкриття — розшифровка генома людини — за значимістю може дорівнятися лише до розщеплення атома або розкриття будови молекули ДНК, — адже це підняло науку на принципово новий рівень пізнання.

VI

НАУКА ПРО ЗЕМЛЮ





Людина здавна оцінила щедрість природи, що давала їй багато чого корисного. І це були не тільки рослини зі стиглими плодами й гнучкими гілками, та тварини, чиє м'ясо вживали в їжу, а зі шкур робили одяг. Неймовірно корисними виявилось й каміння. Виготовлений з нього наконечник був кращий, сумлінно служив мисливцям за знаряддя полювання, а кремій (так його назвали пізніше) допомагав добувати вогонь. Камінням могли укріплювати житло та цілі поселення. Сипучий пісок, гладенька галька, великі камінні глиби — все це слугувало людині. І зараз слугує. І все це дуже умовно називається «неживою» природою (адже дійсно, не бігає, не дихає). Але ж як важко назвати неживою природою, наприклад, вогнедишний вулкан. Насправді природа рухлива і жива і потребує постійного нагляду і вивчення. Тим паче, що Земля у своїх надрах ховає чимало цікавого й корисного. Та не так легко помітити, що лежить у тебе під ногами, на певній відстані. Це потребує неабияких знань і вмінь, а отже, потребує і своєї науки. Вона не забарилася з'явитися і стати, можливо, однією з найцікавіших.

Науку, що вивчає походження, склад та історію розвитку Землі, так і назвали — «наука про землю». Грецькою це звучить як *геологія* (*гео* — земля, *логос* — вчення).



Внутрішня будова вулкану

Гірські породи та мінерали — одні з основних понять у геології. Мінералами називають природні неорганічні сполуки кристалічної структури, приблизно однорідні за хімічним складом та фізичними властивостями. Гірські ж породи не є однорідними, вони самі складаються з багатьох мінералів. Гірська порода — це, власне, своєрідна спільнота мінералів.

Геологи цікавляться гірськими породами та мінералами, а також приділяють увагу процесам, що відбуваються в земній корі і в планеті в цілому. Їх цікавлять і вулкани, і маґма, і материки. А найбільше їх цікав-

лять так звані «корисні копалини». Чому їх так називають, зрозуміло: це ті природні «схованки», що є корисними для людини. Це вугілля, нафта, природний газ тощо. Але щоб знайти такі схованки, треба багато працювати (пройти не один кілометр із рюкзаком за плечима незвіданими стежками або бездоріжжям, а потім довго вивчати результати в лабораторіях). І звичайно, багато знати.

А ще геологів цікавлять такі глобальні питання: коли з'явилася наша планета і як вона формувалася, чому маємо стільки материків, стільки океанів і чи завжди так було. Звичайно, кожен геолог не може охопити всі ці питання. Звичайно, в кожного геолога досить вузька спеціалізація. Адже в геології стільки облич. На її ниві працюють вулканологи та мінералоги, геохіміки та петрографи. І багато інших спеціалістів, бо Земля наша велика і шанована за віком, тож і наука про неї — велика, з великою кількістю галузей.

Перші камінці в підґрунті геології

Можна більш-менш умовно сказати, що зачатки геології з'явилися... в первісному суспільстві. Вже тоді люди, використовуючи камінні знаряддя праці, свідомо надавали перевагу тим чи іншим, залежно від того, яку мету вони ставили перед собою. Довго і наполегливо вони досліджували каміння, розрізняли їх за певними критеріями. Твердість, хрупкість — так потім назвуть вчені ці властивості. Це стане наукою. А тоді, в сиву давнину, люди знали: оцей камінь можна використовувати як наконечник, а цей знадобиться в побуті.

Приблизно в третьому—першому тисячолітті до нашої ери, у бронзовому віці, люди могли видобувати мідь, золото, срібло — як у чистому вигляді, так і у вигляді руди. Отже, людина почала використовувати не тільки те, що лежало на поверхні, а й зазірати у надра земні. Поки ще не дуже глибоко.

Пізніше, на початку нашої ери мешканці сучасної Європи навчилися виплавляти залізо із бурих залізняків. І зазірати дуже далеко в цьому випадку теж не було потреби, адже вони сховані

зазвичай недалеко від поверхні землі.

Тож колеги сучасних геологів мали дуже багато роботи. Назви для їхньої специфічної професії, як, власне, і науки геології, не існувало, однак у деяких місцевостях людей, які розшукували руди, називали «рудознавці» (у слов'ян). Шукати руду — це було їхнє заняття, яким вони заробляли собі на життя. Як же вони без книжок та довід-



Рудознавці за допомогою лози шукають корисні копалини (гравюра)

ників відрізняли руди різних металів від усього іншого й розрізняти їх між собою? Мав значення зовнішній вигляд, колір, характер залягання. Та, мабуть, було ще якесь відчуття, що підказувало, де саме шукати необхідні руди.

Окрім всіляких схованок у земних надрах, людина цікавилася і тим, що земля сама викидала на поверхню. Передусім — це виверження вулканів. Це лихо, як і таке, як землетруси, завжди приходило зненацька й завдавало чимало горя. А ворога треба знати в обличчя. Тим паче, що вулканічна лава (розплавлена магма, яка виходить із земних надр на поверхню) несе не тільки небезпеку, а й багато чого корисного. Застигаючи, лава перетворюється на гірську породу — це може бути базальт, ліпарит тощо. Всім цим пізніше теж займуться геологи. А для вивчення поведінки й характеру вулканів існують ще й вулканологи.

Тож з давніх-давен люди придивлялися до цього, формувалися геологічні уявлення про те, що і як утворилося. Тут уже поставало старе, як світ, питання про те, як утворилася планета в такому вигляді, в якому вона є. Такі геологічні спостереження можна знайти вже в міфологічних та релігійних переказах.

Таким чином, людина здавна прагнула якось пояснити земні процеси (зміни в земній корі). У Давній Греції філософи, які немовби відповідали за розвиток та початок усіх майбутніх наук, не дійшли єдиної думки щодо цього. Існували дві головні геологічні версії. Прихильники однієї з них вважали, що всі геологічні явища на Землі спричиняються водою, тобто саме вода є першодже-



Магматичні гірські породи

Гірські породи, що утворюються із застиглої магми, називають магматичними. Окрім них, існують також осадові (вони осідають на днах водоймищ) та метаморфічні (ті, що утворилися в результаті зміни властивостей та складу первісних гірських порід).

Філософів дотримувалася зовсім протилежної думки — думки про те, що причиною всьому є так званий «підземний вогонь». Себе вони називали плутоністами, віддаючи шану богові підземного царства Плутону.

Прибічники води і вогню ніяк не могли домовитися між собою, і жоден не хотів поступатися своїми переконаннями.

Цим думкам про воду та вогонь ще судилося стати приводом до великих дискусій. Гаряча наукова полеміка відродилася у XVIII столітті і стала ще більш запеклою... А поки що ці думки були одними з перших камінців, закладених вченими у фундамент майбутньої науки про землю.

Все далі спускаючись під землю...

У Середні віки ідеї давніх мислителів були припорошені пилом історії і призабуті. Панувала думка про виключно божествен-

релом усього. Не дивно, що цих мислителів називали нептуністами (а цей напрямок — нептунізмом), на честь відомого бога морів Нептуна. Інша група

Відомості про Всесвітній потоп є однією з форм геологічних уявлень людства. Адже цей біблійний переказ розповідає про те, як утворилися сучасні материки й океани.

тися за певними закономірностями природи, що Земля не стоїть на місці, що процеси, які в ній відбуваються, змінювали її раніше і можуть поступово змінювати її і надалі.

Але незважаючи на панівне становище в часи феодалізму церковних догматів, наукою про землю в ті часи і наступні століття люди цікавилися не менше. Їй приділяли увагу багато різних вчених — від Авіценни до Леонардо да Вінчі.

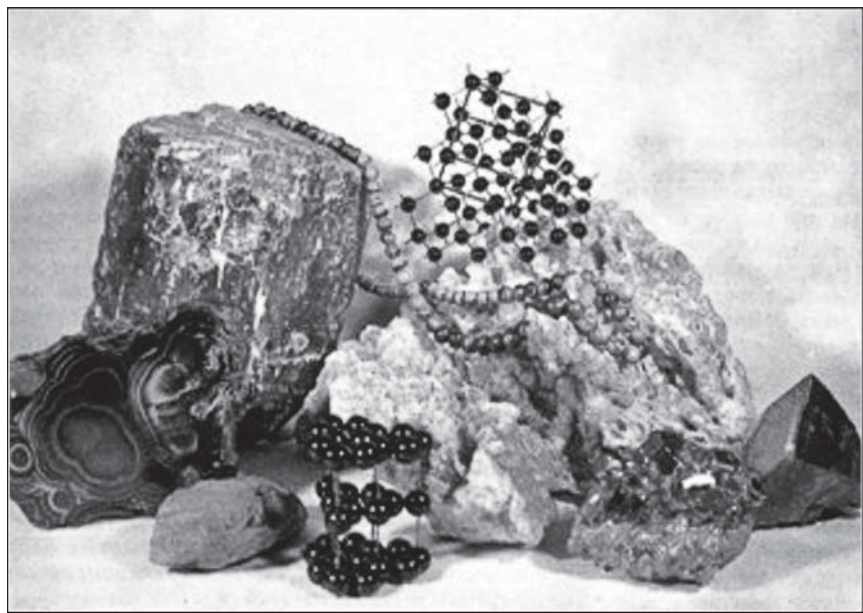
Таджицький лікар і мислитель Ібн-Сіна, він же Авіценна (980—1037), прославився не тільки своїми лікарськими здібностями. Він був ще й мислителем і, як справжній медик, цікавився природничими науками й навколишнім світом взагалі. У своїй «Книзі зцілення душі» він намагався пояснити походження гірських систем всупереч божественній концепції. Так, він пов'язував появу гір із великими землетрусами, яким допомогли вітер та вода. Його твердження про те, що світ існував вічно (принаймні єдиного акту творіння не було) особливо дратували затятих мусульман. А він жив на мусульманській землі. Тож навіть не дивно, що деякі його твори були знищені в полум'ї.

В один час із Авіценною працював вчений Абу Рейхан аль-Біруні (973—1048), геологічні роздуми у працях якого посідали значне місце. Він розмірковував про роботу річкової води, про те, що обличчя планети змінювалося. Так, він твердив, що на місці Аравійської пустелі колись плескалося море. Нині ця його здогадка, що тоді здавалася вигадкою хворої уяви, повністю підтверджена.

Окрім висвітлення теоретичних питань, Біруні приділяв увагу й речам практичним. Він ретельно збирав відомості про знайдені на той час руди, мінерали тощо. У своєму трактаті «Зібрання ві-

домостей для пізнання дорогоцінного каміння» він подав відомості про більш ніж п'ятдесят корисних копалин. Цікаво, що дорогоцінними він називав не лише золото, а й інші корисні копалини. До того ж автор у своїй роботі навів усі

Як і багато вчених у давнину, Біруні мав енциклопедичні знання, володів багатьма науками. Біологія, географія, математика, астрономія, історія — науки, до яких він був прихильний. Причому він не просто вивчав їх, він у кожній з них намагався сказати своє слово. Йому належить робота про календарні системи древніх народів, великий труд про Індію, трактати з математики, астрономії та топографії.



Розмаїтість мінералів

відомі йому поклади корисних копалин Середньої Азії. Цей трактат Біруні тривалий час використовувався як довідник із корисних копалин. Його можна вважати першим довідником у геологічній справі.

А ось найбільша фундаментальна праця, де було узагальнено досвід з видобування корисних копалин, належить німецькому вченому Агріколі (1494—1555). Справжнє його ім'я — Георг Бауер. Як і Авіценна, за основним фахом він був лікарем, але ввійшов в історію з багатьох причин. Його фундаментальну працю «Про гірничу справу» високо оцінили спеціалісти того часу, адже вона містила вичерпні пояснення щодо корисних копалин та способів їх видобування.

Цікаво, що Агрікола дотримувався думки про містичне походження викопних залишків та мінералів. Він називав їх «соками землі, що загусли». Окрім цих соків, у його класифікації були «землі» (крейда, глина), каміння (дорогоцінне та напівдорогоцінне), метали та горючі копалини. Об'єднання містичних «соків» та цілком наукового поняття металів є слабким місцем його класифікації, проте сама її спроба стала впевненим кроком уперед. Ця праця і класифікація були вкрай необхідними, адже у XVI столітті гірничо-промисловість уже була розвинута досить добре, люди спускалися все глибше і знали певні секрети цієї справи. Вже існувало багато різних шахт у різних куточках Земної кулі; люди

Теорії про божественне походження материків, гір та Землі взагалі дістали назву ділювіанізм (від латинського слова «потоп»). Особливого розквіту ці теорії набули у XVII столітті, їх дуже полюбили англійські вчені. Багато хто з них дотримувався гіпотез, що весь теперішній земний рельєф — наслідок Всесвітнього потопу. Більше він не змінювався і не зміниться без Божого втручання.

зробив велику справу, попри те, що дотримувався ідеї божественного походження мінералів.

Із божественним походженням як мінералів, так і всієї Землі ніяк не погоджувався видатний Леонардо да Вінчі (1452—1519). Ретельно роздивившись викопні залишки в гірських породах, великий Леонардо припустив, що ті місця, де вони були знайдені, колись вкривала вода. Адже в нього перед очима були залишки безсумнівно морських тварин. Більше того, він насмілювався навіть критикувати непорушне положення про Всесвітній потоп. Леонардо вважав, що суша поволі змінюється і що це процес постійний і підпорядковується певним законам, а не Божій волі.

Справжній прорив у науці про Землю та про її походження здійснив датський вчений Нільс Стенон (1638—1687). Те, що Земля складається з певних шарів, помітили задовго до нього. А він одним із перших у науковому світі виголосив тезу: чим вище знаходиться пласт, тим він молодший за віком, тобто утворився пізніше. Зараз це твердження здається ціл-

навчилися також збагачувати руду. Окрім того, в арсеналі вчених уже були деякі прийоми аналізу місцевості на предмет наявності корисних копалин. Усі ці важливі відомості, описані в одному джерелі, були дуже необхідні. Тож Агрікола



Геологи та палеонтологи по осадовим шарам земної кори та залишкам організмів, що в ній збереглися, відновили справжню історію життя на Землі

ком очевидним, а тоді це було нове слово в науці про Землю. Згодом на цьому ґрунті виросте геологічна хронологія і люди навчатися визначати послідовність подій, що перетворили нашу планету і зробили її такою, якою ми бачимо її сьогодні.

І все ж таки: вогонь чи вода?

Особливо бурхливо наука про Землю почала розвиватися у XVIII столітті. Ще б пак — це був час народження і швидкого розвитку багатьох підприємств, що потребували корисних копалин. Промисловість жадала їх у великих кількостях. І потрібно було задовольняти її вимоги. А відтак потрібно було розшукувати корисні копалини, аби забезпечити ними нове капіталістичне суспільство.

Тож наука про Землю, геологія, в той час головною своєю метою вважала корисні копалини. Треба було шукати вугілля, шукати руду. Для цього потрібні були спеціалісти, а не ті самородки, які могли шукати руду і знали про неї щось від когось. Таких людей почали готувати, готувати професіоналів, які не були геологами в широкому розумінні цього слова (за сучасним визначенням, вони займалися галуззю геології — геологією корисних копалин), готували знавців гірської справи. Відшукати вугілля тепер було чи не важливіше, ніж колись філософський камінь.

Разом з тим, у цей час сталася визначна подія в науці про Землю (втім, як і у багатьох природничих науках). З новими ідеями

щодо походження та геологічної історії Землі виступили Іммануїл Кант (1724—1804), Михайло Ломоносов (1711—1765) та Леклерк Бюффон (1707—1788). Кожен з цих видатних учених висловив погляди, що суперечили теологічним ідеям.

Видатний німецький філософ Іммануїл Кант у праці «Загальна природнича історія і теорія неба» дуже переконливо заперечував теологічні ідеї походження Землі. Як завжди, його логіка була стрункою й бездоганною.

Леклерк Бюффон історію Землі та її розвиток виклав дуже докладно. Свою фундаменталь-



Михайло Ломоносов

ну працю він назвав «Епохи природи». Вік Землі цей вчений визначив у 75 тисяч років, що знову ж таки суперечило біблійним підрахункам. Перевіривши свої цифри, Бюффон згодом вийшов на число три мільйони років, однак так і залишив це число в чернетках — на той час і 75 тисяч наробили багато галасу і викликали чимало невдоволень.

За теорією Бюффона, всі планети утворилися в результаті того, що під час польоту комети від Сонця відкололися гарячі шматки. За його сміливою на той час версією, Земля пройшла такі етапи розвитку:

- 1) остигання й утворення земної кори;
- 2) конденсація вологи й утворення океану, де згодом зародилося життя;
- 3) поява суші у вигляді одного материка і життя на ній;
- 4) розділення материків;
- 5) поява людини.



Леклерк Бюффон

Треба сказати, він був дуже близьким до істини.

Про те саме писав і Михайло Ломоносов у праці «Про шари земні». Він твердив, що геологічні зміни йдуть довго і повільно, що на це потрібно було набагато більше часу, ніж шість тисяч

Майже півстоліття Бюффон пропрацював... у саду. Його в 1739 році призначили інтендантом королівського саду. Встигав багато чого: у першій половині дня займався наукою, а в другій — садком. Рослини не ображалися, навпаки, вони росли і квітнули і не створювали багато проблем. За своє життя Бюффон написав велику кількість книжок, значно збільшив територію підопічного саду, отримав титул графа та членство у багатьох наукових академіях, у тому числі в Петербурзькій і Французькій. Ще за життя він побачив собі пам'ятник — його статую замовив сам Людовик XVI.

років, про які говорить Біблія. Ще одна його теза стала класичною геології — це теза про те, що наступи і відступи моря в минулому пов'язані з підняттям і опусканням земної кори. Михайло Васильович першим розділив геологічні процеси на внутрішні і зовнішні. Головну роль у формуванні су-

часного обличчя Землі, вважав він, відіграли саме внутрішні процеси, джерелом яких, на його думку, є «жар у земній утробі», тобто внутрішній вогонь.

Ось тут ми повернемося до призабутих було вже ідей плутонізму та нептунізму, як повернулася до них і наука у XVIII столітті. Саме в цей час було струшено порох з давніх протистоянь плутоністів та нептуністів. Знову зіткнулися вогонь та вода — як пояснення змін на поверхні землі, як рушійні сили цих змін. Прибічники обох теорій поводити себе досить агресивно, але в пилу наукової дискусії і не помічали цього. Відгомін плутонізму неважко помітити і в наведеній вище думці Ломоносова.

Тезу Михайла Васильовича про головну роль внутрішнього вогню розвинув і зробив своїм науковим гаслом шотландський вчений Джеймс Геттон (1726—1797), який очолив табір плутоністів. Його найголовніша праця називалася «Теорія Землі». Вчений побачив нашу Землю як агрегат, яким керують хімічні та механічні принципи. Геттон активно відстоював вогонь, який, на його думку, є головним геологічним фактором — завдяки йому, твердив він, ми маємо гори, розщелини та інші види рельєфу. Він із таким запалом доводив, що Плутон, напевно, був би задоволений ним.

Також цей вчений підтримував думку Бюффона, Ломоносова й Канта, що в природі зміни не остигли, вони тривають досі і безперервно. І теж наполегливо твердив, що Земля (життя на Землі) має вік набагато більший, ніж біблійний. Звісно, що такі «богохульні» твердження не викликали ентузіазму ні більшості людей, ні навіть у вчених, які вважали, що Земля такою була завжди і що змінитися вона не здатна.

«Плутоністу» Геттону активно протистояв Абраам Готлоб Вернер (1750—1817), німецький геолог, голова нептуністського напрямку. Він відстоював право води на першоджерело рельєфу, на головну рушійну силу у створенні обличчя планети. Цей вчений вважав, що всі гірські породи народилися у результаті їх осадження із вод колись величезного океану, який, власне, і був тим самим першоджерелом.

Протистояння вогню і води було досить серйозним. Два «геологічних табори» боролися дуже активно. Вони були готові відбивати в суперників, якщо не все в цілому, то потроху — походження кожної гірської породи чи мінералу. Особливо дісталось базальту — плутоністи й нептуністи тягли його кожен у свій бік. Нептуністи вбачали в ньому не що інше, як морський осад, а плутоністи — застиглу вулканічну лаву. Як показав час, з приводу конкретно цього питання, мали рацію останні. І взагалі вони зробили великий внесок у вивчення складу вулканічної лави. А нептуністи досягли успіхів у вивченні осаду та осадочних гірських порід.

Миттєві катастрофи чи поступові зміни?

Протистоянням непутистів та плутоністів був позначений кінець XVIII—початок XIX століття. В цей же час різко посилилася цікавість до питання, як визначити вік гірських порід і земних шарів.

До того часу із відносним віком було все більш-менш зрозуміло. Теза Стенона про те, що чим вищий шар, тим він молодше, у наукових колах вже стала загальновизнаною. Однак не розкопувати ж Землю весь час, хоча у геологів іноді й виникає така спокуса. Виявилося, що встановити вік породи та порівняти її з правильним шаром можуть допомогти... вимерлі тварини. Тобто їхні скам'янілі скелети. Точніше, не самі скелети, а їхні відбитки. Це й був палеонтологічний метод. Завдяки йому стала можливою поява шкали відносного віку гірських порід. Першим цю ідею висловив англійський топограф Уільям Сміт (1769—1839). За відбитками скелетів вчені навчилися встановлювати відносний вік породи, в якій скелет було знайдено, і всього шару, до якого порода належала.

Ідею Сміта розвинув французький вчений Жорж Кюв'є (1769—1832). Він був видатним палеонтологом. За одним невеликим

Палеонтологія — це наука, що вивчає скам'янілі залишки істот (викопні залишки), які жили на нашій планеті колись дуже давно. Вона є окремою наукою, але тісно пов'язана з геологією і часто їй допомагає.

скам'янілим шматочком вимерлої істоти він міг встановити, як вона виглядала у своїй кращій формі. Вивчаючи викопні залишки,

Кюв'є з'ясував, що кожен шар земної кори містить різні, не схожі один на одного викопні залишки. Якщо зважити на те, що кожен шар має свій вік, то можна сказати, що ці істоти жили в різні часи. І коли одні вже потрапляли у скам'янілому вигляді у верхній шар, інші істоти насолоджувалися життям. Потім і їх чекало те саме. А залишки тих, попередніх, опускалися нижче, опиняючись уже не у верхньому шарі, а в тому, що під ним.

Крім того, Кюв'є помітив, що в земних шарах чергуються наземні та морські істоти. Абсолютна несхожість викопних залишків у різних шарах навела вченого на думку, що Земля не один раз кардинально змінювалася. На зміну морю приходила суша і навпаки. Це підтверджувало і те, що між скам'янілостями з різних пластів він не знайшов перехідних форм.

Все це дало Кюв'є змогу зробити гучний висновок: історія Землі поділяється на кілька епох, кожна з яких мала свій унікальний «набір» живих істот. Перехідних форм не існувало тому, що, власне, ніякого переходу (тобто поступового руху) не було.



Жорж Кюв'є

Жорж Кюв'є у 1820 році отримав титул барона, а через одинадцять років — титул пера Франції. Заслуги його були значними — окрім своїх досліджень, він зробив великий внесок у розвиток країни: створив і очолив факультет природничих наук у Паризькому університеті, а також допоміг організувати багато вищих навчальних закладів в інших містах Франції.

Усі ці теорії сприяли тому, що вчені різних країн завзято почали вивчати різні земні нашарування. Геологи були у захваті: вони знову і знову на різних прикладах підтверджували, що в кожному шарі знаходяться залишки властивих тільки йому форм життя. Це був якраз той випадок, коли кількість досліджень переходила в якість. Геологи змогли за залишками вимерлих істот створити шкалу розчленування більшості гірських порід. Ще ніколи не було стільки геологічних експедицій за участю вчених різних країн, як у кінці XVIII століття. Геологи не тільки встановили відносний вік гірських порід, а й почали наносити відомості про них на геологічні карти.

За якихось півстоліття, до середини XIX століття вони зробили чимало карт — на цей час з'явилися карти не тільки не-

Епохи розділялися катастрофами, що знищували більшість живих істот на планеті. Після катастрофи заново створений органічний світ (абсолютно новий) заселяв землю. Тут учений виступав проти ідей еволюції, він надавав перевагу містичним «невідомим силам», що були причетні до цих катастроф та оновлення органічного світу. Ось так він пояснював зміну флори й фауни.

Послідовники Кюв'є (їх називали катастрофістами) ще яскравіше розписали цю картину. На їхню думку, історія Землі виглядала так: катаклізмами час від часу знищували все (вони наполягали на цьому) живе і на суші, і на морі. Тож нікому нікуди було переселятися. Життя вмирало. Але щоразу відроджувалося завдяки божественному втручання. Точніше, не відроджувалося, а завдяки Божій волі виникало зовсім нове життя, новий органічний світ. Катастрофісти налічували різну кількість змін органічного світу — до двадцяти семи.

Геологічна карта незвичному оку може здатися занадто розмаїтою та перенасиченою. На неї вчені наносять розташування та склад гірських порід, геологічний вік та характер залягання. На карти корисних копалин наносять існуючі поклади, а бувають карти, на які наносять вірогідні місця залягання. Для складання геологічних карт використовується геологічна зйомка, розшифровуються фото із космосу, використовуються дані про знайдені гірські породи. Тепер геологам допомагає комп'ютер, який може «подивитися» далеко углиб і скласти найточнішу карту.

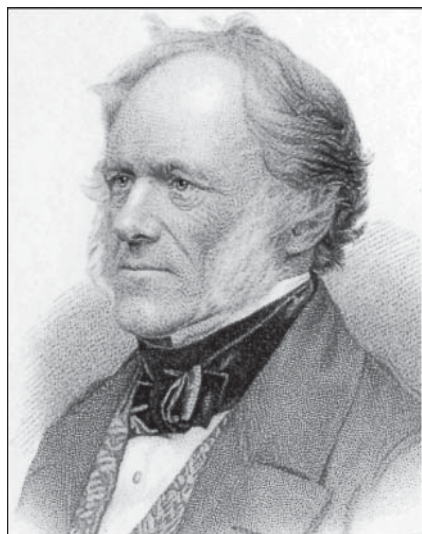
та, що потребувала багато зусиль та часу). Так народилася нова галузь у науці про Землю — історична геологія (думки, що дали їй підґрунтя висловлювалися, як пам'ятаємо, набагато раніше). Вона вивчає історію нашої планети а також тих істот і рослин, що колись населяли її.

Отже, той факт, що в геологічній історії землі відбувалися численні зміни, часто кардинальні, які змінювали рельєф і форми життя на різних ділянках планети, визнали майже всі прогресивні вчені. Більше того, він став згодом прописною істиною. Але чому відбувалися такі зміни і чи можуть вони відбуватися нині — на це запитання відповіді не було. Теорія катастрофістів, які говорили, що такі зміни відбуваються з Божої волі, майже миттєво тріснула по швах. Занадто багато вже було накопичено знань, занадто багато складено карт...

Буквально розгромив і Кюв'є і його послідовників-катастрофістів британський вчений Чарлз Лайєль (1797—1875). Він заперечував і тезу щодо великих руйнівних катастроф, і Боже втручання. Крім того, твердив, що в будь-який час геологічні сили не завмирають, вони діють постійно, хоча й дуже повільно. Саме діють, а не чекають на велику катастрофу. Він також говорив, що не було катастроф, що знищували все живе. На його думку, під впливом різних факторів відбувалася поступова і доволі повільна зміна органічного світу. Тож це була теорія, повністю протилежна теорії катастроф — поступові та безперервні зміни замість миттєвих та несподіваних катастроф. Головна праця Лайєля, об'ємні «Основи геології», стала справжньою подією і мала великий попит, особливо у прогресивної молоді.

Із табору катастрофістів чимало вчених, визнаючи свою неправоту, перейшли на бік автора «Оснoв геології». Його прихиль-

величких територій, а й цілих держав: були карти Британії, Франції, Німеччини та інших європейських держав. Особливим для російської геології став 1841 рік — тоді було опубліковано перші три геологічні карти Європейської частини Росії (звичайно, не всієї країни — це була поки що занадто велика й важка робо-



Чарлз Лайєль

ників почали називати уніформістами. Головною їх заслугою було те, що вони зняли покривало таємничості з геологічної історії, оперували фактами і не давали волі могутній фантазії. Їхні основні постулати звучали так: сили, що впливають на Землю та змінюють її, були, є і будуть; вони є однаковими, такими, як і раніше; вони роблять свою справу повільно, але безперервно; великі зміни, на яких так наполягали катастрофісти, є наслідком менших, поступових змін, а не одноразовим явищем. Ставало зрозуміло, що ці події відбуваються постійно, а не помічаємо ми

їх тому, що історію людства важко співвіднести з великою геологічною історією Землі. Це як піщинка і великий метеорит.

І геологів вже було неможливо зупинити — відкриття йшли за відкриттями.

Ідеї уніформістів набули свого логічного розвитку в еволюціоністичному вченні.

Перевернувши розуміння історії Землі і ставлення до викопних залишків відомий Чарлз Дарвін (1809—1882). Його праця «Походження видів шляхом природного відбору» була подібна до вибуху. Він спричинив нове ставлення до викопних залишків. Він переконливо довів, що в природі відбувався постійний прогрес — еволюція. Виживали найкраще пристосовані до конкретних умов істоти. Саме природним відбором пояснив учений зміну органічних форм, що так дивувало раніше вчених і заводило їх у глухий кут. Саме ним пояснив він і те, що процес розвитку триває постійно.

Його висновки підштовхнули до проведення дослідів багатьох геологів-теретиків. Вони намагалися встановити закономірність змін в історії Землі.

У першій половині XIX століття сформувалися більшість геологічних галузей та напрямків. Через велику кількість відкриттів і взагалі через бурхливий розвиток у XIX столітті в історії геологічних знань часто називають «героїчним періодом».

Незабаром виникло нове відгалуження в науці про землю — еволюційна палеонтологія, засновником якої вважається російський вчений Володимир Ко-

валевський (1842—1883). У цей же час з'явилася і петрографія — наука, яка вивчає склад природного каміння (гірських порід). А наука про мінерали так і зветься — мінералогія.

Родословна планети Земля

Звісно, що всі без винятку теорії розвитку Землі сприяли її кращому вивченню. Ідея створити родословну, розділити історію Землі на етапи давно приваблювала вчених, але вони розходилися у думках. Палеонтологічний метод, запропонований Смітом, стався в пригоді. Після цього відкриття була проведена величезна геологічна робота вченими різних країн. Її результатом мала стати загальновизнана геологічна шкала. На Міжнародному геологічному конгресі в Болоньї у 1881 році ця геохронологічна шкала була затверджена — відтоді з'явився офіційний «годинник» для геологів, за яким вони вже упродовж багатьох десятиліть поспіль звіряють час. Адже геологічний час — це тисячі й мільйони років...

За цією затвердженою шкалою в історії нашої планети було виокремлено великі відтинки часу — ери, що поділяються на менші — періоди. Ер вирізнили п'ять:

- архейська (безжиттєва),
- протерозойська (ера первинного життя),
- палеозойська (ера давнього життя),
- мезозойська (ера середнього життя)
- кайнозойська (ера нового життя).

Згодом була знайдена відповідь і на ще одне питання — скільки ж років земним шарам (найдавнішим утворенням Землі). Блискучу відповідь дав видатний російський вчений Володимир Вернадський. І вона звучала так — 4,5 млрд років!!! Тобто були праві ті, хто твердив, що набагато більше шести тисяч років, а ж не стільки! Як же він зміг зробити такі важливі висновки? До того ж говорили виключно про відносний вік гірських порід (ця старша, ця молодша), а він взявся підрахувати абсолютний. На допомогу

йому прийшла таблиця Менделєєва. Свій метод Вернадський побудував, спираючись на дослідження розпаду радіоактивних елементів таблиці.

Геохронологічна шкала й визначення абсолютного віку мі-

Якщо в мінералі присутні ізотопи радіоактивних елементів (урану, торію, наприклад), які здатні розпадатися до перетворення на свинець, вчені підраховують їх співвідношення, щоб відповісти на запитання: скільки урану розпалося. А тоді їм вже неважко визначити, скільки часу минуло з «дня народження» породи.



Іван Губкін

До Гірничого інституту Іван Губкін вступив у 32 (!) роки. Нафту вперше побачив, коли йому було близько сорока, а за дослідницьку роботу взявся вже після сорока років. Такий «пізній» старт не завадив йому стати головним нафтовиком Росії та Радянського Союзу.

сином, походив із неписьменної сім'ї далекого муромського села. Тож і педагогічний інститут був для нього досить значним досягненням. А що вже казати про другу освіту? Він відкрив кубанську нафту, відкрив так зване «друге Баку» (величезний нафтовий район між Уралом та Волгою), чимало інших покладів нафти, багато його передбачень щодо розміщення «чорного золота» справдилися.

А «королем вугілля», одним із засновників вчення про нього в Росії був геолог Павло Степанов (1880—1947). Він досяг великих успіхів у вивченні вугілля та місць його скупчення.

Відламки в океані

Геологів (та й не тільки їх) здавна цікавило питання про походження материків та океанів. Вивченням будови, руху та розвитку земної кори займається *геотектоніка*.

нералів дуже допомагають відшукувати корисні копалини. Тож геологія корисних копалин наприкінці XIX — на початку XX століття зробила якісний стрибок.

Ретельно вивчивши ту чи іншу копалину, вчені могли зробити висновки про умови їх утворення, а отже, спрогнозувати, де їх слід шукати. Як правило, в цей час кожен геолог, який шукав корисні копалини, мав свій улюблений об'єкт, якому й присвячував свої дослідження. Так, чеський вчений Франц Ношенний (1836—1895) зробив великий внесок у дослідження рудних покладів і сприяв формуванню цілого вчення про них.

Батьком вчення про нафту вважається російський геолог Іван Губкін (1871—1939). Його життя і діяльність — приклад того, як «Іван, селянський син» може досягти наукових висот. Він і насправді був селянським

Ще Леонардо да Вінчі висловлював «крамольну» думку про те, що Земля існує набагато довше, ніж про це говорить Біблія.

А Рене Декарт так уявляв появу нашої планети: спочатку вона була розплавленою, а коли стала остигати, вкрилася твердою оболонкою, під якою були і повітря, і вода. Час від часу кора тріскалася, «тонула» у воді, і таким чином вода виходила на поверхню і утворювала океани.

Люди, що з цікавістю розглядали перші географічні карти із ще непевними контурами материків (карти, на яких вже були обидві Америки), помітили, що контури Південної Америки практично збігаються із контурами Африки. Начебто хтось розділив їх. Те саме можна сказати і про Гренландію, що підозріло правильно вписується в Євразію.

Про це говорив філософ Френсіс Бекон (1561—1626) та інші вчені. Причому такі думки приходили незалежно від спеціальності вчених. Та й пересічні люди думали так само про це. Першим більш-менш повно з наукової точки зору пояснити це зміг саме географ за фахом (йому і карти в руки — географічні, звісно) — точніше, фламандський картограф Абрахам Ортелій (1527—1598). У своєму трактаті «Географічна скарбниця» він, мабуть, уперше в спеціальній літературі озвучив ідею сумісності берегових ліній материків. Вчений навіть намагався дати пояснення, як таке могло статися. Але, звичайно, в XVI столітті ще не було достатнього наукового підґрунтя для цього.

До цієї ідеї звернулися лише у XIX столітті. Знову уявно «здвинув» материки італійський географ Антоніо Снідер-Пеллегріні. Власне, спочатку його цікавили не стільки материки на їх сумісність, скільки схожість (якщо не сказати ідентичність) викопних рослин, що їх знайшли в Європі та Північній Америці. Здвинувши материки, він дійшов висновку, що ці рослини колись були в одному величезному лісі. Тож відтоді його почали цікавити саме материки. Свої здогадки він висвітлив у роботі «Світобудова і розкриті таємниці». Однак знову ж таки вагомих доказів не було, і сучасникам все це видалося не більше, ніж дитячою забавою.

Трохи згодом австрійський геолог Едвард Зюсс (1831—1914) висунув гіпотезу, згідно з якою колись на Землі існував великий континент (він дав йому ім'я Гондвана — на честь давнього індійського племені гондов). Південна Америка, Африка, Індія та Австралія — якраз і являють собою шматки Гондвани. А більша її частина опинилася під водою.

Ще кілька вчених у цей час висували подібні гіпотези, але щоразу бракувало доказів навіть не на те, щоб її прийняти, а хоча б розглянути її і взяти до уваги.



Альфред Лотар Вегенер

Вегенер мав багато професій та захоплень. Сина священика не задовольняло релігійне пояснення речей. Він вирішив присвятити себе науці. Спочатку це була астрономія, до якої він був дуже здібний. Але юнак мріяв стати володарем погоди, метеорологом. А ще вивчати Гренландію. Обидві його мрії здійснилися. Як метеоролог він побував на Гренландії, зібрав там геологічний матеріал. А ще його дуже цікавили повітряні кулі. Мабуть, щоб дістатися небесної канцелярії і напряду дізнаватися все про погоду. Зі своїм братом він встановив у 1906 році рекорд безперервного перебування в повітрі на кулі — 52 години.

Ми вченого, Пангея складалася з північної частини Лавразії (Південна Америка, більша частина Євразії) та південної Гондвани (Південна Америка, Африка, Індостан, Австралія та Антарктида). Материк був один, а навколо нього — один океан.

На перший погляд може здатися, що теорія Вегенера мало чим відрізняється від тієї схеми, що запропонував Зюсс. Але це не так.

Такі докази (вагомі геологічні та геофізичні дані) запропонував німецький вчений Альфред Лотар Вегенер (1880—1930). Він неодноразово бував в експедиціях на Гренландії, мав багато фактичного матеріалу, ретельно вивчав її.

У 1924 році Вегенер став завідувати кафедрою метеорології та геофізики в Грацькому університеті. Через п'ять років на нього втретє чекала холодна Гренландія. Серед її снігів він і провів останні хвилини свого життя...

А його відкриття — *теорія континентів, що дрейфують* — хоча спочатку й не було широко відоме сучасникам, залишилося на віки. Саме на його дослідях та висновках базуються сучасні дослідження. Його гіпотеза хоча й вважається гіпотезою (власне, ніхто точних свідчень про той час не має), проте її підтримує багато сучасних вчених.

Його смілива на той час теорія нині відома під назвою «теорія континентів, що дрейфують». Вегенер доводив, що за часів Палеозойської ери існував один великий континент, якому він дав ім'я «єдина земля» — *Пангея*. Потім вона розкололася і шматки розпливлися в різні боки. За уявленням

У 1912 році Вегенер виступив із доповіддю про гіпотезу існування за часів палеозою єдиного великого континенту на засіданні Німецької асоціації у Франкфурті-на-Майні. Більшість учених цю гіпотезу на той час відхилила, хоч вона і стала предметом запеклих дискусій, які свідчать принаймні про її цікавість.

то Вегенер був переконаний: материки розташовувалися інакше.

Головним «але» в теорії Вегенера була його неспроможність пояснити механізм дрейфу. А втім, що дрейф існує, він був впевнений. До нього вважалося, що континенти вміють рухатися вертикально (підіймаються і опускаються), а вчений, який наполягав на горизонтальному русі, чіткого його механізму не дав. Навіть не припустив, яка сила могла рухати континенти, примушуючи великий материк розповзатися на шматки та ще й в різні боки океану.

Тут існує принципова різниця: якщо Зюсс вважав, що положення материків було незмінним, просто частина суші пішла під воду, а те, що залишилося, нікуди не рухалося.



Довелося континентам, що дрейфують, чекати ще кілька десятиліть. На допомогу їм прийшов шотландський геолог Артур Холмс (1890—1965). Він запропонував механізм, який міг би рухати континенти. Силою, що рухає, він назвав потоки речовини, що існують у мантії і приводяться в рух великою різницею температур. Це було в 40-х роках ХХ століття. Потрібні були ще два десятиліття, щоб ця гіпотеза підкріпилася фактами і доказами з боку різних вчених і вчення про великі переміщення земної кори стало визнаною теорією, вченням про тектоніку плат.

Тут слід подякувати Вегенеру, адже все це зроблене на базі його припущень. Нині його гіпотеза набула вагомості і до неї прислухаються вчені.

На шляху до сфери розуму — на шляху до ноосфери

А тепер повернімося трохи назад, до початку ХХ століття. Тоді з'явилися такі цікаві синтетичні науки, як геохімія та радіогеологія. Перша вивчає, як хімічні елементи мандрують у надрах Землі і за яких умов вони збираються разом, тобто коли виникають поклади тієї чи іншої мінеральної сировини. Друга є наукою про радіоактивні властивості нашої планети, про радіоактивні явища, що постійно відбуваються в ній.

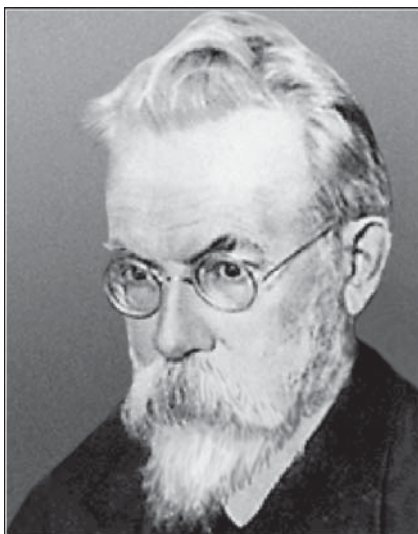
Цікаво, що батьком обох вважається вчений світового рівня й енциклопедичних знань Володимир Вернадський, про якого ми вже згадували. Йому багато чим зобов'язана й мінералогія, з якої він починав свій науковий шлях. Володимир Іванович сміливо розділив мінералогію та кристалографію, і з його легкої руки вони стали самостійними науковими дисциплінами. Кристалографія — про будову мінералів, а мінералогія — про їхній хімічний склад та властивості. Його кафедра та кабінет (він очолював кафедру мінералогії та кристалографії в Московському університеті) перетворилися на справжнє царство мінералів. А його фундаментальна праця «Спроба описової мінералогії» стала справжнім одкровенням у науковому світі.

Власне, робота на ниві геології, мінералогії та геохімії наштовхнула Вернадського на роздуми про роль людини у змінах, що відбуваються на планеті.

Вернадський запропонував ідею еволюції всіх мінералів, тим самим відкрив перед мінералогією, що раніше вважалася суто описовою наукою, нові обрії — поставив перед нею завдання вивчати історію мінералів у земній корі.

Не самої людини, а такої субстанції, як біосфера, «живої речовини», представником якої і є людина. Він твердив, що жит-

тя — це сукупно діючий процес, який впливає на розвиток планети. До нього біологи, які вивчали живу речовину, і геологи були ніби по різні боки барикад, вони не заважали один одному, але й не прагнули до співпраці. Вважалося, що в кожній з цих галузей свої справи. А Вернадський зробив нечуваний до того поворот у науці — він винайшов той необхідний місток, завдяки якому все це стало розвиватися більш продуктивно, вийшло на новий рівень. Місток цей і звався біосферою.



Володимир Вернадський

Термін «біосфера» вперше застосував відомий вже нам австрієць Едвард Зюсс. Він виокремив оболонки Землі — *гідросферу* (водну оболонку), *літосферу* (камінну; земну кору) та *біосферу*. Біосферу вчений називав «лік Землі». Але Зюсс не дав наукового наповнення новому поняттю, воно, на відміну від гідросфери та літосфери, вийшло дещо абстрактним. Вернадський же не тільки наповнив його змістом, а й вивів на новий рівень — і більше того, побачив роль біосфери у геологічних змінах на планеті. Сукупність живих організмів є невід'ємною частиною планети і має розглядатися як такий же геологічний об'єкт, як і всі інші, — так вважав Вернадський.

Відправною точкою у вченні Вернадського про геохімічну діяльність живої речовини, про біосферу, стала робота «Жива речовина», яку він закінчив у 1922 році. Біосфера для Вернадського — нова геологічна сила в розвитку планети. Це цілісна система, головне в якій — активність живої речовини, здатність впливати на земні процеси.

До Вернадського якщо і вживали термін «біосфера», то все одно трохи недооцінювали її в геологічному плані. Тобто їй відмовляли у здатності впливати на геологічні процеси, на зовнішність планети.

У 1917 році Вернадський переїхав на Україну. У важкі часи громадянської війни він брав участь у створенні Академії наук і був обраний її президентом.

Свої лекції про біосферу Вернадський читав так натхненно, що міг захопити кого завгодно. Так, у 1922—

1923 роках у Сорбонні він читав лекції про геохімію біосфери, постійно підкреслюючи роль людини у процесах, що відбуваються з планетою. Серед слухачів були французький математик Ле Руа і геолог П'єр де Шарден (1881—1955). Вони так перейнялися ідеєю біосфери, що розвинули її далі.

Ле Руа, розвинувши ідеї Вернадського, проголосив про перехід біосфери в ноосферу — розумову оболонку планети. Власне, він уперше і ввів цей термін. «Вголос» він уперше висловив його у 1927 році під час лекцій у Коллеж де Франс (Париж).

Про ноосферу багато розмірковував і його земляк, першовідкривач синантропа П'єр де Шарден. Але він примудрився розвинути ідеї Вернадського в ірраціоналістичному напрямку. Основною працею де Шардена є сповнена містицизму робота «Феномен людини». Автор надав ноосфері містичного значення. Можливо, на його погляди вплинуло те, що вчений ще в юні роки вступив до релігійної організації. Там він проявляє себе як відданий католик, попри те, що знайшов предка людини і твердив про еволюційне зародження життя на планеті.

Можливо та містика, що її неодмінно додавав Шарден до ноосфери, дещо засмучувала Вернадського, і він тривалий час не виявляв наукової зацікавленості до цього. Але згодом він не тільки сприйняв термін «ноосфера» (без містичного забарвлення, а такий, яким він був у Ле Руа), а й розширив його розуміння, створив цілу теорію ноосфери. Тож ноосфера твердо асоціюється з іменем Вернадського, хоча сам термін йому і не належить.

Перший раз із вуст цього вченого «ноосфера» прозвучала під час його доповіді в 1937 році на Міжнародному Геологічному конгресі. Вона називалася «Про значення радіогеології для сучасної геології». І в ній були такі слова: «Ми живемо в епоху, коли людство вперше охопило в бутті планети всю Землю. Біосфера, як вдало висловився Ле Руа, перейшла в новий стан — у ноосферу». Згодом, вже після смерті вченого, у 1945 р. в американському журналі було опубліковано його статтю «Біосфера і ноосфера». Найбільш повно про ноосферу йдеться у роботі Вер-



П'єр Шарден

Праця «Наукова думка як планетарне явище» мала стати частиною головної фундаментальної роботи Вернадського «Хімічна будова біосфери Землі та її оточення». Вчений так і не встиг закінчити її.

ву геологічну роль не стільки живої речовини, скільки людської думки. Цей неминучий перехід зумовлений активною діяльністю наукової думки людини: «Наукова думка є частина структури... біосфери, і її в ній проявлення, її утворення в еволюційному процесі життя є великої важливості подією в історії біосфери, в історії планети».

І дійсно, якщо поміркувати, неозброєним оком видно (не треба бути ані геологом, ані іншим вченим), як людська наукова думка змінює реальність, а значить, і планету в цілому. Людина навчилася утворювати нові сполуки, які, можливо, і не входили до планів природи. Людина змінила геохімічну історію всіх металів, утворила нові сполуки.

Вернадський постійно підкреслював активну перебудову людиною біосфери. Для нього в ноосфері об'єднувались, взаємодіючи, думка й праця людства. У його концепції передусім важливі були не сама по собі наукова думка або сукупність думок, а той реальний результат, що вона дає, результат, що обов'язково позначається на геохімічних явищах, а таким чином і на всій планеті в цілому.

Свій вплив на планету, на творення і розвиток ноосфери, за Вернадським, має також культура (дійсно, людство відрізняється не тільки науковою думкою). Він розглядає її під власним кутом зору, називаючи особливою формою біогеохімічної енергії. Вона бере активну участь у творенні і розвитку ноосфери — вважає вчений.

Процес становлення ноосфери є тривалим, і він ще не закінчився, — твердив Вернадський. Він вважав, що тепер від людини залежить, як піде цей процес. Чи зможе вона спрямувати свою наукову думку для блага, чи зможе не нашкодити планеті. Вчений застерігав: «У геологічній історії біосфери перед людиною відкривається величезне майбутнє, якщо вона зрозуміє це і не буде вживати свій розум і свою працю на самознищення». В той час такі ідеї здавалися трохи дивними. Тоді ще так гостро не стояли пробле-

надського «Наукова думка як планетарне явище».

Як видно із назви роботи, вчений тепер говорить про важли-

ми екології, над ними так не замислювались. Отже, ідеї та застереження Вернадського виявились пророчими.

Вернадський показує, що з переходом до ноосфери людина виступає вже не як Homo Sapiens (людина розумна), а як Homo Faber (людина-творець).



Олександр Ферсман

Для нормального існування ноосфери в майбутньому Вернадський говорив про багато умов, серед яких були й такі: вихід людини в космос (тоді це було сміливо), рівність всіх людей, свобода наукових думок, виключення війн із життя суспільства. Таким чином, він сягає філософських висот у цьому питанні.

Про ноосферу писав і учень Вернадського Олександр Ферсман (1883—1945). Він був геологом і вивчав геологічну роль людини. Мабуть, з погляду своєї професії він оцінював проблему з суто практичної точки зору — що і як змінила

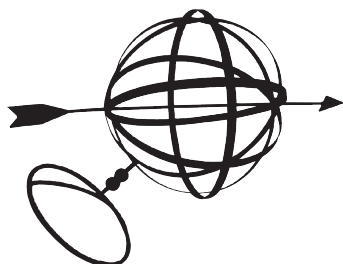
діяльність людини. Ферсман, можливо, трохи відійшов від філософського наповнення, яким так вражають роботи Вернадського. У своїй праці «Геохімія» цей вчений дав характеристику геохімії техногенезу, тобто технічній діяльності людини. З процесами природи він порівнює не діяльність розуму, наукової думки, а простіше — господарську та промислову діяльність людини. Про біосферу, що піддається такому впливу, він говорить більше як про техносферу — як про галузь технічної діяльності людини.

Однак, хоч би як розвивали ідеї великого Вернадського, його застереження щодо використання наукового потенціалу залишаються актуальними. Адже Земля — наш рідний дім, і треба, по-перше, ретельно його вивчати, а по-друге, бути обережним у своїй здатності змінювати його. Він великий і сильний, але, разом з тим, такий тендітний...



Література

1. Агекян Т. А. Звезды, галактики, Метагалактика. М.: Наука, 1970.
2. Азимов А. Вселенная: Пер. с англ. М.: Мир, 1969.
3. Альвен Г. Миры и антимир: Пер. со швед. М.: Мир, 1968.
4. Бабий Т. П., Коханова Л. Л., Костюк Г. Г. и др. Биологи (биографический справочник). Киев, 1984.
5. Ван-дер-Варден Б. Л. Пробуждающаяся наука. Математика Древнего Египта, Вавилона и Греции. М., 1959.
6. Воронцов-Вельяминов Б. А. Очерки о Вселенной. М.: Наука, 1969.
7. Даан-Дальмедико А., Пейффер Ж. Пути и лабиринты: Очерки по истории математики. М.: Наука, 1986.
8. Заблудовский П. Е. История медицины // Заблудовский П. Е. Методическое пособие. М.: Медицина, 1998.
9. Зигель Ф. Ю. Невидимый космос. М.: Детская лит., 1970.
10. История биологии с древнейших времен до начала XX века / Под ред. С. Р. Микulinского. М., 1972.
11. История биологии с начала XX века до наших дней / Под ред. Л. Я. Бляхера. М.: Высш. шк., 1975.
12. Карпов В. П. Гиппократ. М.: АСТ, 1994.
13. Кирилин В. А. Страницы истории науки и техники. М.: Наука, 1989.
14. Комаров В. Н. Увлекательная астрономия. М.: Наука, 1968.
15. Корлисс У. Загадки Вселенной: Пер. с англ. М.: Мир, 1970.
16. Перельман Я. И. Занимательная астрономия. М.: Наука, 1966.
17. Петров Б. Д. От Гиппократа до Семашко: преемственность идей. М.: Медицина, 1990.
18. Полянский Ю. И. Клеточная теория — история, современность, перспективы. М., 1989.
19. Сорокина Т. С. История медицины. М.: Медицина, 1988.
20. Фолта, Я., Новы Л. История естествознания в датах. М.: Прогресс, 1987.
21. Хойл Ф. Галактики, ядра и квазары: Пер. с англ. М.: Мир, 1968.
22. Цесевич В. П. Маяки Вселенной. Киев: Наук. думка, 1968.
23. Энциклопедический словарь юного астронома. М.: Педагогика, 1986.
24. Энциклопедический словарь юного биолога. М.: Педагогика, 1986.
25. Энциклопедический словарь юного математика. М.: Педагогика, 1985.
26. Энциклопедический словарь юного физика. М.: Педагогика, 1991.
27. Энциклопедический словарь юного химика. М.: Педагогика, 1990.
28. Юшкевич А. П. История математики в средние века. М.: Высш. шк., 1961.



ЗМІСТ

Вступ.....	3
Розділ I. Найточніша наука	7
З глибини далеких тисячоліть	7
Спадкості Евкліда.....	17
На підступах до сучасної математики.....	25
Стрімкий рух у сьогодення.....	29
Ньютонова революція в науці.....	34
Найновіші сторінки в математиці.....	40
Розділ II. Велика експериментаторка	55
Народження фізики.....	56
Хронологія розвитку культури й фізики.....	57
Класична фізика	76
«Механіка» — мистецтво побудови машин	76
Все почалося з лінзи.....	87
Закони «теплої сили».....	96
Той, що у дроті сидить	100
Сучасна фізика	111
Усе у світі відносно.....	112
Квантова теорія	113
Наріжні цеглинки будови матерії.....	117
Розділ III. Неосяжний Всесвіт	127
Небесна твердь.....	127
Від Птолемея до Коперника.....	133
«І все ж таки вона крутиться!»	137
Перші закони.....	142
У міжгалактичному просторі	151
Освоєння космічних глибин.....	166
Астрономічні цікавинки	181
Розділ IV. Королева перетворень	191
«Таємне мистецтво» єгипетських жерців, чи Пошук філософського каменю	191

Від античного атомізму до хімічної революції.....	200
Від відкриттів, що наснилися, — у XX століття	219
Хімія в Книзі рекордів Гіннеса	233
Розділ V. Наука про життя	237
Життя та його походження.....	237
Людина вивчає себе	250
Найвищі досягнення	263
Розділ VI. Наука про Землю	293
Перші камінці в підґрунті геології.....	294
Все далі спускаючись під землю... ..	296
І все ж таки: вогонь чи вода?	300
Миттєві катастрофи чи поступові зміни?.....	303
Родословна планети Земля	307
Відламки в океані	308
На шляху до сфери розуму — на шляху до ноосфери	312
Література.....	317