КНИГА ВІД ЛАУРЕАТА НОБЕЛІВСЬКОЇ ПРЕМІЇ З ФІЗИКИ

ОДИН ІЗ НАЙВИДАТНІШИХ УЧЕНИХ СВІТУ

Це знакова книжка нашого часу. Одна з обов'язкових до прочитання.

The Independent

Стівен Вайнберг — американський фізик-теоретик, один із найвідоміших у світі науковців, лауреат Нобелівської премії, професор фізики та астрономії Техаського університету в Остіні, член Національної академії наук США й Лондонського королівського товариства, нагороджений Національною науковою медаллю США. Має величезну кількість нагород, премій та почесних звань. Є автором численних робіт із теоретичної фізики та науково-популярних книжок.

Є багато різних наук, і кожна з них пройшла тривалий етап становлення. Та чи замислювалися ви колись над тим, як розвивалася та трансформувалася... сама наука? Якою була її історія? Який сенс вкладали в поняття «наука» у період Античності, Середньовіччя, під час наукової революції XVI—XVII століть? Що змінилося, а що залишилося незмінним?

Захоплива мандрівка — від перших експериментів давніх греків до теорії струн та гравітації. Історія фундаментальної науки, що пояснить не лише те, як ми прийшли до розуміння різноманітних речей про світ, а й те, як ми навчилися його пізнавати.

Вайнберг є прикладом для кожного, хто спілкується з широкою аудиторією. Його роботи сповнені глибокої мудрості.

The Guardian

www.bookclub.ua

ISBN 978-617-12-5103-8

СТІВЕН ВАЙНБЕРГ

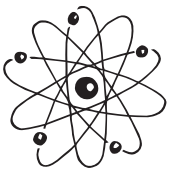
ПОЯСНЮЮЧИ СВІТ

Історія сучасної науки

ПОЯСНЮЮЧИ СВІТ

Історія сучасної науки

СТІВЕН ВАЙНБЕРГ



STEVEN WEINBERG

TO EXPLAIN THE WORLD

The Discovery of Modern Science

HARPER

An Imprint of HarperCollins*Publishers*

СТІВЕН ВАЙНБЕРГ

ПОЯСНЮЮЧИ СВІТ

Історія сучасної науки

ХАРКІВ
2019
КЛУБ СІМЕЙНОГО ДОЗВІЛЛЯ

УДК 001.6
В14

Жодну з частин цього видання
не можна копіювати або відтворювати в будь-якій формі
без письмового дозволу видавництва

Перекладено за виданням:
Weinberg S. To Explain the World. The Discovery of Modern Science /
Steven Weinberg. — New York: HarperCollins Publishers, 2015. — 432 p.

Переклад з англійської *Ярослава Лебеденка*

Науково-популярне видання

ВАЙНБЕРГ Стівен
Пояснюючи світ. Історія сучасної науки

Керівник проекту *С. І. Мозгова*
Відповідальний за випуск *А. В. Альошичева*
Редактор *Н. В. Постернак*
Художній редактор *А. О. Попова*
Технічний редактор *В. Г. Євлахов*
Коректор *Є. О. Редько*

Підписано до друку 12.04.2019. Формат 60x90/16. Друк офсетний.
Гарнітура «Newton». Ум. друк. арк. 22. Наклад 3000 пр. Зам. № .

Книжковий Клуб «Клуб Сімейного Дозвілля»
Св. № ДК65 від 26.05.2000
61140, Харків-140, просп. Гагаріна, 20а.
E-mail: cop@bookclub.ua

Віддруковано у ПРАТ «Харківська книжкова фабрика "Глобус"»
61052, м. Харків, вул. Різдвяна, 11.
Свідоцтво ДК № 3985 від 22.02.2011 р.
www.globus-book.com

ISBN 978-617-12-5103-8
ISBN 978-0-06-234665-0 (англ.)

© Steven Weinberg, 2015
© DepositPhotos.com / digiselector, обкладинка, 2019
© Hemiro Ltd, видання українською мовою, 2019
© Книжковий Клуб «Клуб Сімейного Дозвілля», переклад і художнє оформлення, 2019

Присвячую
Луїзі, Елізабет та Габріель

Гуляли ми з тобою три години,
Слідом за нами рухались дві тіні.
Ішли за нами, їхніми творцями,
І ні на мить вони не відставали.
Та сонечко уже над головами,
І тіні в'ються в нас попід ногами.
Ясними й чистими всі речі стали.

Джон Донн. Лекція про тінь

ЗМІСТ

Передмова.. .. .. .

ПЕРЕДМОВА

Я фізик, а не історик, але з роками мене дедалі більше зачаровує історія науки. Це просто виняткова тема, одна з найцікавіших у людській історії. Це також історія, до якої науковці, як-от я, мають особистий інтерес. Знання минулого науки може допомогти в сучасних дослідженнях, проливши на них світло, а деяких учених воно мотивує в їхній нинішній роботі. Ми сподіваємося, що наші дослідження стануть частиною (хай навіть маленькою) великої історичної традиції природничих наук.

Там, де історії стосувалися мої попередні роботи, то була здебільшого сучасна історія фізики та астрономії з кінця XIX століття й дотепер. Хоч у цю епоху ми дізналися багато нового, завдання та стандарти фізичної науки суттєво не змінилися. Якби 1900 року фізикам якось розповіли про сучасну стандартну модель космології або фізику елементарних частинок, вони знайшли б для себе багато дивовижного, але сама ідея пошуку математично сформульованих та експериментально підтверджених об'єктивних принципів, що пояснюють широке розмаїття явищ, здалася б їм доволі знайомою.

Нещодавно я вирішив, що маю зануритися глибше, щоб більше дізнатися про давніші періоди історії науки, коли її завдання та стандарти ще не набули своєї нинішньої форми. Як цілком природно для університетського викладача, захотівши більше дізнатися про щось, я зголосився прочитати курс із цього предмета. Тож упродовж останнього десятиліття в Техаському університеті я періодично читав історію фізики та астрономії студентам-старшокурсникам, які не мали спеціальної підготовки з фізики, математики чи історії. З лекційних нотаток для тих курсів і виросла ця книжка.

Просуваючись у роботі над книжкою, я, схоже, зумів запропонувати щось, що трохи виходить за межі простої оповіді: погляд сучасного вченого на науку минулого. Я скористався цією можливістю, щоб пояснити свої уявлення про природу фізичної науки, а також про її безперервні заплутані зв'язки з релігією, технікою, філософією, математикою та естетикою.

Певна наука була й у доісторичні часи, адже природа постійно демонструвала людям розмаїття дивовижних явищ: вогонь, грози, мо-

ровиці, рух планет, світло, припливи тощо. Спостереження за подіями у світі привели до корисних узагальнень: вогонь пече, грім передвіщає дощ, а припливи найвищі, коли Місяць повний або новий тощо. Ці узагальнення стали частиною народної мудрості. Але то тут, то там деякі люди хотіли більшого, ніж просто збирати факти. Вони прагнули пояснювати світ.

Це було нелегко. Наші попередники не лише не мали теперішніх знань про світ — найважливіше, що вони зовсім не мали уявлень про те, що означає розуміти світ, а також як цього навчитися. Знову і знову, готуючи лекції для свого курсу, я був вражений, наскільки робота науковця в минулі століття відрізнялася від науки мого часу. Як говорять про це часто цитовані рядки роману Л. П. Гартлі: «Минуле — як закордон; вони там усе роблять інакше». Сподіваюсь, у цій книжці мені вдалося дати читачеві уявлення не лише про те, що відбувалося в історії точних наук, а й про те, як все це було нелегко.

Отже, ця книжка не лише про те, як ми дійшли до розуміння різноманітних речей про світ. Цілком природно, що це розглядає будь-яка історія науки. Натомість у цій книжці я зосередився на дещо іншому — на тому, як ми навчилися пізнавати світ.

Я цілком усвідомлюю, що слово «пояснюючи» в заголовку цієї книжки порушує проблеми для філософів науки. Вони вже заявляли, що складно провести чітку межу між поясненням та описом (мені доведеться трохи поговорити про це в розділі 8). Але ця книжка більшою мірою з історії, ніж із філософії науки. Пояснення я розумію як щось заздалегідь не визначене, так само, як у звичайному житті, коли ми намагаємося пояснити, чому якийсь кінь виграв перегони або чому якийсь літак розбився.

Слово «відкриття» в підзаголовку також проблематичне. Я думав використати підзаголовок «Винайдення сучасної науки». Зрештою, наука навряд чи була б можлива без людських істот, які її практикують. Я вибрав «відкриття» замість «винайдення», щоб показати, що наука така, яка є, не так через різноманітні випадкові історичні винаходи, як через особливості самої природи. Попри всю свою недосконалість, сучасна наука — це техніка, достатньо добре налаштована на природу, щоб працювати; це практика, завдяки якій ми можемо отримувати достовірні знання про світ. У цьому сенсі це техніка, що чекала, поки її відкриють люди.

Отже, про відкриття науки можна говорити в такому самому ключі, як історик може говорити про відкриття сільського господарства.

Попри всю свою різноманітність та недосконалість, сільське господарство таке, яке воно є, бо його практики доволі добре налаштовані на біологічні реалії, щоб працювати, — вони дають нам змогу вирощувати харчові продукти.

Цим підзаголовком я також хотів дистанціюватися від небагатьох соціальних конструктивістів, які ще залишилися: соціологів, філософів та істориків, що намагаються пояснити не лише процес, а й результати науки як продукти конкретного культурного середовища.

Серед усіх галузей науки ця книжка акцентуватиме увагу на фізиці та астрономії. Саме у фізиці, особливо в її застосуванні до астрономії, наука вперше набула своєї сучасної форми. Звісно, є певні межі, у яких науки на кшталт біології (принципи якої дуже залежать від історичних випадковостей) можна або варто моделювати за фізикою. Утім, у певному сенсі розвиток наукової біології, а також хімії в XIX і XX століттях можна вкласти в модель революції у фізиці XVII століття.

Сьогодні наука є міжнародним — можливо, найбільш міжнародним — аспектом нашої цивілізації, але відкриття сучасної науки сталося в місці, яке можна умовно назвати Заходом. Сучасна наука засвоїла свої методи з досліджень, здійснених у Європі під час наукової революції, які, у свою чергу, виникли з роботи, проведеної в Європі та арабських країнах за часів Середньовіччя, а також, врешті-решт, з ранньої давньогрецької науки. Багато наукових знань Захід запозичив звідусіль: геометрію — з Єгипту, астрономічні дані — з Вавилону, техніки арифметики — з Вавилону та Індії, магнітний компас — з Китаю тощо. Однак, як мені відомо, Захід не імпортував *методів* сучасної науки. Тому ця книжка виділятиме Захід (включно із середньовічним ісламським світом) саме в тому ключі, проти якого Освальд Шпенґлер та Арнольд Тойнбі: я мало що казатиму про науку за межами Заходу, а також взагалі нічого не казатиму про цікавий, але абсолютно ізольований прогрес, досягнутий у доколумбовій Америці.

Розповідаючи про це, я близько підходитиму до небезпечної зони, якої старанно уникають сучасні історики, — судження про минуле за мірками теперішнього. Особливо церемонитися я не маю наміру. Я не боюся критикувати методи й теорії минулого із сучасного погляду. Я навіть знайшов певне задоволення в розкритті деяких помилок, яких припустилися видатні діячі науки і про які історики чомусь не згадують.

Історик, що присвячує роки вивченню праць якоїсь великої людини минулого, може дійти до перебільшення справжніх досягнень сво-

го героя. Я спостерігав це на прикладі досліджень про Платона, Аристотеля, Авіценну, Гросетеста й Декарта. Але моєю метою тут є не звинувачувати якихось натурфілософів минулого в дурості. Радше, показуючи, які далекі ці дуже розумні люди були від нашого нинішнього поняття про науку, я хочу продемонструвати, як складно було відкрити сучасну науку, які неочевидні її практики та стандарти. Це також є попередженням, що наука, можливо, ще не набула своєї остаточної форми. У кількох місцях цієї книжки я припускаю, що який би великий не був прогрес, досягнутий у наукових методах, сьогодні ми, можливо, повторюємо окремі помилки минулого.

Деякі історики науки неначе змовилися не згадувати, вивчаючи науку минулого, нинішні наукові знання. Натомість я надаю особливого значення використанню теперішніх знань, щоб зрозуміти минуле наук. Наприклад, спроби зрозуміти, як елліністичні астрономи Аполлоній та Гіппарх розробили теорію обертання планет навколо Землі петельними епіциклічними орбітами, використовуючи лише доступні їм дані, можуть бути дуже цікавою інтелектуальною вправою. Але це просто неможливо, бо багато з тих даних назавжди втрачені. Однак ми знаємо, що в стародавні часи Земля та планети оберталися навколо Сонця майже круговими орбітами так само, як і сьогодні, і за допомогою цих знань можемо зрозуміти, як дані, доступні давнім астрономам, підказали їм їхню теорію епіциклів. У будь-якому разі, як можна сьогодні, читаючи про давню астрономію, забувати наші знання про те, що насправді обертається навколо чого в Сонячній системі?

Для читачів, які хочуть глибше зрозуміти, як міркування науковців минулого відповідають тому, що існує в природі, наприкінці цієї книжки наведені «Технічні примітки». Щоб стежити за основним текстом книжки, читати ці примітки необов'язково, але деякі читачі можуть дізнатися з них кілька цікавих моментів із фізики та астрономії, як це зробив я сам, коли їх готував.

Сьогодні наука не є тим, чим була на початку свого розвитку. Її результати стали неупередженими. Натхнення та естетичне судження в розвитку наукової теорії важливі, але підтвердження цих теорій покладається зрештою на об'єктивні експериментальні перевірки їхніх передбачень. Хоч у формулюванні фізичних теорій та розробленні їхніх наслідків використовують математику, наука не є галуззю математики, а наукові теорії не можна вивести внаслідок суто математичних міркувань. Наука й техніка ідуть на користь одна одній, але наукові

дослідження на їхньому найфундаментальнішому рівні не мають якоїсь практичної мети. Хоча наука не має однозначних відповідей на запитання про існування Бога або життя після смерті, її метою є пошук суто натуралістичних пояснень природних явищ. Науці властиво накопичувати знання: кожна нова теорія містить успішні попередні теорії як окремі випадки й навіть пояснює, чому й за яких умов ці теорії працюють.

Ніщо з цього не було очевидним для вчених Стародавнього світу або Середньовіччя, і все це було лише з великими складнощами засвоєне під час наукової революції XVI і XVII століть. Від самого початку нічого схожого на сучасну науку не планували. То як же тоді ми дійшли до наукової революції та вийшли за її межі, де й перебуваємо нині? Саме це ми маємо спробувати дізнатися, вивчаючи відкриття сучасної науки.

Частина І

ДАВНЬОГРЕЦЬКА ФІЗИКА

Під час або ще до розквіту давньогрецької науки суттєві внески до техніки, математики й астрономії робили вавилоняни, китайці, єгиптяни, індійці та інші народи. Однак Європа взяла свою модель та натхнення саме з Греції, і саме в Європі почалася сучасна наука, тому давні греки відіграли у відкритті науки особливу роль.

Можна нескінченно сперечатися про те, чому саме давні греки досягли так багато. Можливо, на це вплинуло те, що давньогрецька наука зародилася, коли греки жили невеликими незалежними містами-державами, у багатьох із яких панувала демократія. Але, як ми побачимо нижче, своїх найбільш неймовірних наукових успіхів давні греки досягли вже після того, як ці невеличкі держави були поглинуті потужними силами — елліністичними царствами, а потім Римською імперією. В елліністичні та римські часи давні греки зробили до науки та математики такі внески, які не були суттєво перевершені аж до наукової революції XVI і XVII століть у Європі.

Ця частина моєї розповіді про давньогрецьку науку присвячена фізиці, тоді як астрономію розглянуто у другій частині. Я поділив першу частину на п'ять розділів, присвячених у більш чи менш хронологічному порядку п'яти способам мислення, з якими була узгоджена наука: поезії, математиці, філософії, техніці та релігії. Тема взаємозв'язків науки з цими п'ятьма інтелектуальними «сусідами» виникатиме знову й знову впродовж усієї книжки.

1

Матерія та поезія

Спочатку підготуймо сцену. До VI століття до н.е. західне узбережжя нинішньої Туреччини було впродовж деякого часу населене давніми греками, що переважно говорили іонійським діалектом. Найбагатшим та наймогутнішим з іонійських міст був Мілет, заснований у природній гавані поблизу місця, де річка Меандр впадає в Егейське море. Саме в Мілеті більш ніж на століття раніше за часи Сократа давні греки почали розмірковувати про основну субстанцію, з якої складається світ.

Уперше я дізнався про мілетців, ще бувши студентом Корнельського університету й вивчаючи курси історії та філософії науки. На лекціях я чув, як мілетців називали «фізиками». У той час я також відвідував заняття з фізики, зокрема лекції із сучасної атомної теорії матерії. Мені тоді здалося, що між мілетською та сучасною фізикою дуже мало спільного. Не те щоб мілетці не мали рації щодо природи матерії; радше я просто не міг зрозуміти, як вони дійшли своїх висновків. Історичні записи про давньогрецькі ідеї щодо цього до часів Платона фрагментарні, але я був цілком упевнений, що в архаїчну та класичну епохи (приблизно з 600 до 450 і з 450 до 300 року до н. е. відповідно) ані мілетці, ані якісь інші давньогрецькі дослідники природи зовсім не міркували так, як це роблять сучасні науковці.

Перший мілетець, про якого щось відомо, — Фалес, що жив приблизно на два століття раніше за Платона. Він начебто передбачив сонячне затемнення, яке, як ми знаємо, сталося в 585 році до н. е. і яке було видно з Мілета. Навіть якщо врахувати вавилонські записи про затемнення, малоймовірно, що Фалес міг би зробити таке передбачення, бо будь-яке сонячне затемнення видно лише з обмеженого географічного району. Однак той факт, що Фалесу його приписували, демонструє, що він, мабуть, жив на початку 500-х років до н. е. Ми не знаємо, чи виклав Фалес якісь зі своїх ідей на папері. У будь-якому разі нічого з його творів не збереглося навіть у згадках пізніших авторів.

Він є легендарною постаттю, одним із тих (як і його сучасник Солон, який начебто створив Афінську конституцію), кого за часів Платона називали одним із «семи мудреців» Греції. Наприклад, Фалес мав репутацію людини, що довела або ж привезла з Єгипту відому геометричну теорему (див. технічну примітку 1). Для нас тут важливо те, що Фалес, як вважають, дотримувався думки, що вся матерія складається з єдиної основної субстанції. Згідно з «Метафізикою» Арістотеля, «більшість перших філософів вважала основи природи матерії єдиними основами всіх речей... Натомість Фалес, засновник цієї філософської школи, говорить, що основою є вода»[1]. Набагато пізніше (близько 230 року н. е.) Діоген Лаертський, біограф давньогрецьких філософів, писав: «Його доктриною було те, що універсальною первинною субстанцією є вода і що світ живий та повний божеств»[2].

Чи мав на увазі Фалес, говорячи про «універсальну первинну субстанцію», що вся матерія складається з води? Якщо так, то ми жодним чином не можемо пояснити, як він дійшов такого висновку, але якщо хтось переконаний, що вся матерія складається з єдиної спільної субстанції, тоді вода — це непоганий кандидат. Вода існує не лише у формі рідини, її також можна легко перевести у твердий стан унаслідок заморожування або в пару внаслідок кип'ятіння. Вода також, безумовно, необхідна для життя. Проте ми не знаємо, чи вважав Фалес, що каміння, наприклад, дійсно сформоване зі звичайної води, або лише припускав, що є щось основне, що пов'язує каміння та всі інші тверді тіла із замерзлою водою.

Фалес мав учня чи помічника Анаксімандра, який дійшов іншого висновку. Він теж вважав, що є якась єдина початкова субстанція, але не асоціював її з жодним звичайним матеріалом. Радше Анаксімандр ідентифікував її як якусь загадкову субстанцію, яку називав безмежною, або нескінченою. Щодо цього ми маємо опис його поглядів у викладі Сімплікія — неоплатоніста, що жив приблизно на тисячу років пізніше. Сімплікій наводить начебто пряму цитату з Анаксімандра, позначену тут курсивом:

> З тих, хто говорить, що [основа] єдина, рухома й безмежна, Анаксімандр, син Праксіада, мілетець, наступник та учень Фалеса, вважав, що безмежними є і основа, і елемент всього сущого. Він казав, що це ані вода, ані якийсь інший із так званих елементів, а якась інша безмежна природа, з якої народжуються небеса та світи в них; і що речі, з яких відбувається народження всього

сущого, є також тими, з яких народжується їхня руйнація, відповідно до того, що має бути. *«Бо справедливість та відшкодування дають вони одне одному за їхні образи у призначений час»*, — як він сам говорить про них доволі поетичними словами. І зрозуміло, що, спостерігаючи перетворення чотирьох елементів один на один, він вважав гідним зробити основним матеріалом не якийсь із них, а щось інше, відмінне від них[3].

Трохи згодом до ідеї, що все складається з якоїсь однієї спільної субстанції, повернувся інший мілетець Анаксімен. Для нього цією субстанцією була не вода, а повітря. Він написав книгу, з якої збереглося лише одне ціле речення: «Душа, як наше повітря, контролює нас, а дихання та повітря охоплюють цілий світ»[4].

На Анаксімені внесок мілетців у розвиток науки закінчився. Приблизно в 550 році до н. е. Мілет разом з іншими іонійськими містами Малої Азії був підкорений дедалі могутнішою Перською імперією. У 499 році до н. е. Мілет підняв повстання, але був розорений персами. Пізніше він відродився як важливе давньогрецьке місто, але вже більше не ставав центром давньогрецької науки.

Роздуми про природу матерії продовжили іонійські давні греки за межами Мілета. Є підстави вважати, що Ксенофан, який народився близько 570 року до н. е. в іонійському місті Колофон, а потім переселився на південь Італії, вважав основною субстанцією землю. В одній із його поем є такий рядок: «Із землі все йде, і в землі все закінчується»[5]. Але, можливо, то була просто його версія відомої фрази, яку говорять під час похорону: «Попіл до попелу, прах до праху». З Ксенофаном ми ще зустрінемося в іншому зв'язку, коли дійдемо до розгляду релігії в розділі 5.

У місті Ефес, що неподалік від Мілета, близько 500 року до н. е. Геракліт учив, що основною субстанцією є вогонь. Він написав твір, з якого збереглися лише окремі фрагменти. Один із цих фрагментів говорить нам: «Цей впорядкований *космос*[*], який є однаковим для всіх,

---

[*] Як зазначає у своїй роботі «Всесвіт Платона» Ґрегорі Властос (Gregory Vlastos, *Plato's Universe*, University of Washington Press, Seattle, 1975), прислівникову форму від слова *kosmos* використовував Гомер у значенні «соціально прийнятний» та «морально відповідний». В англійській мові таке використання збереглося в слові «косметичний». Її використання Гераклітом відображує елліністичне уявлення, що світ є приблизно таким, яким він і має бути. Також це слово з'являється у близьких за значенням поняттях «космос» та «космологія». *(Тут і далі прим. перекл., якщо не зазначено інше.)*

не був створений ніким із богів чи людей, але він завжди був, є й буде вічноживим Вогнем, що в міру розгорається й у міру згасає»[6]. В інших місцях Геракліт підкреслював нескінченні зміни у природі, тож для нього було природніше вважати основним елементом мерехтливий вогонь — чинник змін, а не більш стабільні землю, повітря чи воду.

Класичне уявлення про те, що вся матерія складається не з одного, а з чотирьох елементів — води, повітря, землі та вогню, — схоже, завдячує своїй появі Емпедоклу. Він жив у місті Акраґас на острові Сицилія (нині Аґридженто) у середині 400-х років до н. е. і є першим, якщо не єдиним давнім греком у цій першій частині розповіді, що за походженням був не іонійцем, а дорійцем. Емпедокл написав гекзаметром дві поеми, з яких збереглося чимало фрагментів. У поемі «Про природу» ми знаходимо такі рядки: «як від змішування Води, Землі, Ефіру й Сонця [вогню] з'явилися форми й кольори смертних істот»[7], а також «вогонь, вода, земля та безмежна височінь повітря, а також проклята Незгода, окрім них, усіляко збалансовані, і Любов посеред них, рівна висотою та шириною»[8].

Можливо, Емпедокл та Анаксімандр використовували такі поняття, як «любов» та «незгода» або «справедливість» та «несправедливість», лише як метафори ладу та безладу, приблизно, як Ейнштейн час від часу використовував слово «Бог» як метафору не відомих поки що основних законів природи. Але ми не повинні нав'язувати словам цих досократиків сучасну інтерпретацію. Як я це бачу, включення до міркувань про природу матерії людських емоцій на кшталт любові та незгоди Емпедокла або цінностей на кшталт справедливості та відшкодування Анаксімандра, найімовірніше, є ознакою величезної відстані, що відділяє уявлення досократиків від духу сучасної фізики.

Ці грецькі філософи античної доби від Фалеса до Емпедокла, схоже, вважали елементи однорідними недиференційованими субстанціями. Інший погляд, ближчий до сучасного розуміння, був запропонований трохи пізніше в Абдері, містечку на морському узбережжі Фракії, яке заснували біженці після початку в 499 році до н. е. повстання іонійських міст проти Персії. Першим відомим філософом-абдеритом був Левкіпп, з робіт якого збереглося лише одне речення, що вказує на детерміністський світогляд: «Ніщо не трапляється даремно, а все з якоїсь причини й за потреби»[9]. Значно відомішим став наступник Левкіппа Демокріт. Він народився в Мілеті, а потім жив у Вавилоні, Єгипті та Афінах, перш ніж осісти в Абдері наприкінці

400-х років до н. е. Демокріт писав на тему етики, природничих наук, математики та музики, і з цих праць збереглося багато фрагментів. Один із таких фрагментів висловлює думку про те, що вся матерія складається з крихітних неподільних частинок під назвою «атоми» (у перекладі з давньогрецької «нерозрізувані»), що рухаються в порожньому просторі: «Солодке існує умовно, умовно існує гірке; атоми й Пустка [лишень] в реальності існують»[10].

Як і сучасні вчені, ці давньогрецькі філософи прагнули вийти за межі поверхових уявлень про світ, шукаючи знання про глибший рівень реальності. Бо ж матерія світу не видається з першого погляду такою, що цілковито складається з води, повітря, землі, вогню, усіх чотирьох елементів разом чи навіть атомів.

Своєї крайньої точки езотеричне сприйняття досягло в роботах Парменіда з Елеї (сучасної Велії) на півдні Італії, якими дуже захоплювався Платон. На початку 400-х років до н. е. Парменід учив на противагу Геракліту, що видимі зміни та різноманіття в природі є ілюзією. Ці ідеї обстоював і його учень Зенон Елейський (не плутати з іншими Зенонами, як-от Зенон Стоїк). У своїй роботі «Апорії» Зенон запропонував низку парадоксів, щоб показати неможливість руху. Наприклад, щоб подолати всю бігову доріжку стадіону, спочатку необхідно подолати половину відстані, а потім половину того, що залишилося, і так до нескінченості, тож подолати всю доріжку просто неможливо. З тих самих міркувань, як можна судити зі збережених фрагментів, Зенону здавалося просто неможливим подолати *будь-яку* задану відстань, а отже, неможливим є й увесь рух.

Звісно ж, міркування Зенона були помилкові. Як зазначив пізніше Арістотель[11], немає жодної причини, чому ми не можемо зробити нескінченну кількість кроків за скінченний проміжок часу, якщо час, необхідний для кожного наступного кроку, зменшується достатньо швидко. Це правда, що нескінченна послідовність на кшталт ½ + ⅓ + ¼ +... має нескінченну суму, але нескінченна послідовність ½+ ¼ + ⅛ +... має скінченну суму, яка в цьому разі дорівнює 1.

Найбільше вражає не так те, що Парменід та Зенон помилялися, як те, що вони не переймалися поясненням, чому, якщо рух неможливий, нам здається, що об'єкти рухаються. Фактично жоден із давніх греків від Фалеса до Платона ані в Мілеті, ані в Абдері, ані в Елеї чи Афінах не намагався докладно пояснити, як їхні теорії про істинну реальність відповідають сприйняттю об'єктів.

Це були не просто інтелектуальні лінощі. Серед давньогрецьких мислителів існувала схильність до інтелектуального снобізму, що змушувала їх вважати сприйняття взагалі не вартим розуміння. Це лише один із прикладів ставлення, яке вбило значну частину історії науки. У різні часи просто вважали, що кругові орбіти досконаліші за еліптичні, що золото благородніше за свинець і що людина вища істота за її сородичів-мавп.

Чи не робимо ми сьогодні аналогічні помилки, проходячи повз можливості наукового прогресу, бо ігноруємо явища, що здаються не вартими нашої уваги? Цілковитої впевненості немає, але, гадаю, навряд. Звісно, ми не можемо досліджувати геть усе, але ми вибираємо проблеми, які, на нашу думку (правильно це чи ні), пропонують найкращі перспективи наукового розуміння. Біологи, яких цікавлять хромосоми або нервові клітини, вивчають тварин на кшталт плодових мушок та кальмарів, а не благородних орлів та левів. Фізиків, які вивчають елементарні частинки, іноді звинувачують у снобістському та дорогому занятті явищами, що потребують найвищої з доступних енергій, але ж лише за допомогою високих енергій ми можемо створити та вивчити гіпотетичні частинки високої маси, як-от частинки темної матерії, з якої, як говорять нам астрономи, складається п'ять шостих матерії Всесвіту. У будь-якому разі ми приділяємо багато уваги явищам, пов'язаним із низькими енергіями, як-от визначення маси нейтрино, що становить приблизно одну мільйонну від маси електрона.

Говорячи про упередженість досократиків, я не маю на увазі, що апріорним міркуванням немає місця в науці. Сьогодні, наприклад, ми сподіваємося виявити, що наші найосновніші фізичні закони відповідають принципам симетрії, які стверджують, що фізичні закони не змінюються зі зміною нашого погляду певним визначеним чином. Так само, як принцип незмінності Парменіда, деякі з цих принципів симетрії не одразу помітні у фізичних явищах — побутує думка, що їх спонтанно порушують. Тобто рівняння наших теорій мають певну простоту, наприклад, розцінюючи певні види частинок однаково, але ця простота не поширюється на розв'язання рівнянь, що управляють фактичними явищами. Утім, на відміну від схильності Парменіда до незмінності, апріорне припущення на користь принципів симетрії постає з багаторічного досвіду пошуку фізичних принципів, що описують реальний світ, а існування порушених та непорушених симетрій доведене експериментами, що підтверджують їхні наслідки. Во-

ни не передбачають таких оцінних суджень, які ми застосовуємо до людських стосунків.

З появою Сократа наприкінці V століття до н. е., а також Платона десь так сорок років по тому основною ареною давньогрецького інтелектуального життя стали Афіни — одне з небагатьох іонійських міст на материковій частині Давньої Греції. Майже все, що ми знаємо про Сократа, походить із його образу в діалогах Платона, а також з образу комічного персонажа у п'єсі Арістофана «Хмари». Сократ, схоже, не виклав жодних своїх ідей у письмових творах, але, наскільки ми можемо про це судити, він не дуже цікавився природничими науками. У діалозі Платона «Федон» Сократ згадує, як він був розчарований, прочитавши твір Анаксагора (більше про якого в розділі 7), бо той описав Землю, Сонце, Місяць та зорі суто фізичними термінами безвідносно до того, що з них найкраще[12].

На відміну від свого героя Сократа, Платон був афінським аристократом. Він був першим давньогрецьким філософом, багато робіт якого доволі непогано збереглися. Як і Сократ, Платон більше цікавився людськими стосунками, ніж природою матерії. Він сподівався зробити політичну кар'єру, завдяки якій міг би втілити свої утопічні та антидемократичні ідеї. У 367 році до н. е. Платон прийняв запрошення Діонісія II приїхати до Сиракуз і допомогти реформувати тамтешній уряд, але, на щастя для мешканців міста, з того проекту реформ нічого не вдалося.

У діалозі «Тімей» Платон звів разом ідею чотирьох елементів з абдеритським поняттям про атоми. Платон припускав, що чотири елементи Емпедокла містять частинки у формі чотирьох із п'яти твердих тіл, відомих у математиці як правильні багатогранники: тіл, усі грані яких є ідентичними багатокутниками з усіма ідентичними ребрами, що сходяться разом в ідентичні вершини (див. технічну примітку 2). Наприклад, одним із таких правильних багатогранників є куб, усі грані якого є ідентичними квадратами й у кожній вершині якого збігаються три квадрати. Платон вважав, що атоми землі мають форму куба. Іншими правильними багатогранниками є тетраедр (піраміда з чотирма трикутними гранями), восьмигранний октаедр, двадцятигранний ікосаедр та дванадцятигранний додекаедр. Платон припускав, що атоми вогню, повітря й води мають форми відповідно тетраедра, октаедра й ікосаедра. Це залишало осторонь додекаедр. На думку Платона, він представляв *космос*. Пізніше Арістотель запровадив п'ятий елемент —

ефір, або квінтесенцію, який, за його припущенням, заповнював простір вище від орбіти Місяця.

У роботах про ці ранні роздуми щодо природи матерії заведено наголошувати, як такі роздуми стали прообразом рис сучасної науки. Особливо захоплюються Демокрітом — на його честь названий один із провідних університетів сучасної Греції. Насправді ж намагання визначити основні складники матерії тривали тисячоліттями, хоч і зі змінами час від часу в меню елементів. До початку нового часу алхіміки визначили три ймовірні елементи: ртуть, сіль та сірку. Натомість сучасна ідея хімічних елементів датована хімічною революцією, яку інспірували Прістлі, Лавуазьє, Дальтон та інші науковці наприкінці XVIII століття, і сьогодні налічує 92 елементи природного походження — від водню до урану (включно зі ртуттю та сіркою, але не сіллю) — плюс постійно розширюваний перелік штучно створених елементів, важчих за уран. За нормальних умов чистий хімічний елемент містить атоми одного й того самого типу, а елементи відрізняються один від одного за типом атомів, з яких вони складаються. Сьогодні ми дивимося далі хімічних елементів на елементарні частинки, з яких складаються атоми, але так чи інакше ми продовжуємо розпочатий ще в Мілеті пошук основних складників природи.

І все-таки я вважаю, що не варто надавати надмірного значення сучасним аспектам архаїчної чи класичної давньогрецької науки. Адже сучасна наука має важливу особливість, якої майже немає в усіх згаданих мислителів, від Фалеса до Платона: жоден із них не намагався підтвердити чи навіть (окрім, мабуть, Зенона) серйозно обґрунтувати свої роздуми. Коли читаєш їхні роботи, весь час хочеться запитати: «Звідки ви знаєте?» І Демокріта це стосується так само, як і всіх інших. Ніде у фрагментах його творів, що збереглися, ми не бачимо жодних спроб показати, що матерія дійсно складається з атомів.

Ідеї Платона про п'ять елементів демонструють яскравий приклад його байдужого ставлення до обґрунтування. У діалозі «Тімей» він починає не з правильних багатогранників, а з трикутників, які пропонує об'єднати разом, щоб сформувати грані багатогранників. Які саме трикутники? Платон вважає, що це має бути рівнобедрений прямокутний трикутник із кутами 45°, 45° та 90°, а також прямокутний трикутник із кутами 30°, 60° та 90°. Квадратні грані кубічних атомів землі можна скласти з двох рівнобедрених прямокутних трикутників, а всі трикутні грані тетраедральних, октаедральних та ікосаедральних атомів вог-

ню, повітря й води відповідно можна сформувати з двох інших прямокутних трикутників (додекаедр, якій загадковим чином представляє космос, у цей спосіб зібрати не вдасться). Пояснюючи такий вибір, Платон у «Тімеї» говорить: «Якщо хтось може вказати нам кращий вибір трикутника для конструювання цих чотирьох тіл, його критика буде прийнятна; але зі свого боку ми пропонуємо обійти всі інші мовчанням... Наводити причину було б надто довго, але якщо хтось може навести доказ, що це неправильно, ми вітатимемо його досягнення»[13]. Можу собі уявити реакцію, якби я сьогодні підтримав нове припущення про матерію у фізичній статті, говорячи, що було б надто довго пояснювати мої міркування, і кидаючи колегам виклик — довести, що це припущення неправильне.

Арістотель називав більш ранніх давньогрецьких філософів *фізіологами*, що іноді перекладають як «фізики»[14], але це вводить в оману. Слово *фізіологи* означає просто дослідники природи (*фізис*), а з сучасною фізикою давні греки мали дуже мало спільного. Їхні теорії не мали в собі гостроти. Емпедокл міг розмірковувати про елементи, а Демокріт — про атоми, але їхні роздуми не привели до появи жодної нової інформації про природу — і вже точно ні до чого, що дало б змогу перевірити їхні теорії.

Мені здається, що для розуміння цих давньогрецьких мислителів краще уявляти їх не фізиками, ученими чи навіть філософами, а поетами.

Слід пояснити, як я це розумію. Є вузький сенс поезії як мови, що використовує вербальні засоби на кшталт розміру, рими чи алітерації. Навіть у цьому вузькому сенсі Ксенофан, Парменід та Емпедокл писали все поезією. Після вторгнень дорійців та занепаду мікенської цивілізації бронзової доби у XII столітті до н. е. давні греки здебільшого втратили писемність. А без писемності поезія є ледь не єдиним способом, яким люди можуть спілкуватися з наступними поколіннями, бо її можна запам'ятовувати так, як не можна прозу. Писемність серед давніх греків відродилась близько 700 року до н. е., але новий алфавіт, запозичений у фінікійців, теж спочатку використовували Гомер та Гесіод, щоб написати поезію, частиною якої були давно відомі вірші темних часів Давньої Греції. Проза виникла пізніше.

Навіть ті перші давньогрецькі філософи, що писали прозою, на кшталт Анаксімандра, Геракліта та Демокріта, перейняли поетичний стиль. Цицерон сказав про Демокріта, що той був більш поетичний,

аніж багато поетів. Платон у юності хотів стати поетом, і, хоч він писав прозою й неприязно висловлювався про поезію у своїй «Державі», його літературним стилем завжди широко захоплювалися.

Я ж маю тут на увазі поезію в ширшому розумінні: мови, вибраної для естетичного ефекту, а не у спробі чітко сказати, у що людина насправді вірить. Коли Ділан Томас пише: «Та сила, що крізь зелень трав штовхає квітку, веде й мою зелену юність», — ми не розцінюємо це як серйозну заяву про поєднання сил ботаніки та зоології й не шукаємо підтвердження; ми (або принаймні я) сприймаємо це радше як вияв смутку щодо віку та смерті.

Часом виникає враження, що Платон не хотів, щоб його сприймали буквально. Одним із прикладів є його вже згаданий надзвичайно слабкий аргумент щодо вибору двох трикутників як основи всієї матерії. Більш показовий приклад — Платон уводить до діалогу «Тімей» розповідь про Атлантиду, що начебто процвітала за тисячі років до його власного часу. Але ж Платон не міг серйозно вважати, що він дійсно знає щось про події тисячолітньої давнини.

Я геть не хочу сказати, що давні греки вирішили писати поетично, щоб уникнути потреби підтверджувати їхні теорії. Такої потреби вони не відчували. Сьогодні ми перевіряємо наші роздуми про природу за допомогою запропонованих теорій, щоб дійти більш-менш чітких висновків, які можна перевірити внаслідок спостереження. Давні греки або багато їхніх наступників такого не робили з дуже простої причини: *вони ніколи не бачили, як це робиться*.

Часом можна побачити свідчення, що, навіть коли ранні грецькі філософи хотіли, щоб їх сприймали серйозно, вони сумнівалися у власних теоріях, відчували недосяжність достовірних знань. Один із таких прикладів я навів у своєму дослідженні 1972 року на тему загальної теорії відносності. На початку розділу про космологічні роздуми я процитував кілька рядків із Ксенофана: «А щодо істини певної, то ніхто ще її не побачив, як і ніколи не буде людини, що знатиме про богів та про речі, які я згадав. Бо, якщо їй і вдасться сповна розповісти про правду, сама вона все одно не знатиме цього, а думка її лише зумовлена долею»[15]. У тому самому ключі у творі «Про різницю форм» Демокріт зауважив: «Насправді твердо ми не знаємо нічого» та «Показано вже не раз, що насправді не знаємо ми, як кожна річ існує або ні»[16].

У сучасній фізиці теж зберігається певна частка поезії. Звісно, ми не пишемо віршами, а значна частина робіт із фізики взагалі ледь до-

тягує до рівня прози. Але ми шукаємо красу в наших теоріях і використовуємо естетичні судження як орієнтир для наших досліджень. Дехто з нас пояснює це тим, що століття успіхів та невдач у фізичних дослідженнях підготували нас до передчуття певних аспектів законів природи й завдяки цьому досвіду ми прийшли до відчуття, що ці особливості законів природи красиві[17]. Але ми не визнаємо красу якоїсь теорії як переконливий доказ її правильності.

Наприклад, теорія струн, що описує різні види елементарних частинок як різноманітні режими вібрації крихітних струн, дуже красива. Схоже, що вона доволі послідовна математично, тож її структура не довільна, а здебільшого відповідає вимозі математичної послідовності. Отже, вона має красу стійкої форми мистецтва — сонету чи сонати. На жаль, теорія струн наразі не привела до жодного передбачення, яке можна перевірити експериментально, а тому теоретики (принаймні більшість із нас) не можуть сказати, чи справді ця теорія стосується реального світу. Саме цього прагнення порівняти теорію з реальністю нам найбільше бракує в усіх поетичних дослідників природи — від Фалеса до Платона.

2

Музика та математика

Навіть якби Фалес та його наступники зрозуміли, що з їхніх теорій про матерію треба вивести наслідки, які можна було б порівняти зі спостереженнями, вони знайшли б це завдання занадто складним почасти через обмеженість давньогрецької математики. Перед тим вавилоняни досягли чималих успіхів в арифметиці, використовуючи систему числення, що ґрунтувалася на 60, а не 10. Вони також розробили кілька простих технік алгебри, як-от правила (хоча ті й не були виражені символами) розв'язання різноманітних квадратних рівнянь. Але для давніх греків математика була здебільшого геометричною. Як ми бачили, за часів Платона математики вже сформулювали теореми про трикутники та багатогранники. Значна частина геометрії в «Началах» Евкліда, була добре відома до його часів, близько 300 року до н. е. Однак навіть тоді давні греки обмежено розуміли арифметику, не кажучи вже про алгебру, тригонометрію чи інтегральні числення.

Можливо, найпершим явищем, яке вивчали за допомогою методів арифметики, була музика. Цим займалися послідовники Піфагора. Уродженець іонійського острова Самос Піфагор близько 530 року до н. е. перебрався на південь Італії. Там у давньогрецькому місті Кротон він заснував культ, що протримався до 300-х років до н. е.

Слово «культ» тут здається цілком доречним. Давні піфагорійці не залишили жодних власних робіт, але, за повідомленнями інших авторів[1], вірили в переселення душ. Вони начебто мали носити білі шати і їм заборонялося їсти боби, бо ті схожі на людський зародок. Піфагорійці організували своєрідну теократію, і під їхнім управлінням мешканці Кротона в 510 році до н. е. зруйнували сусіднє місто Сибарис.

Для історії науки важливо те, що піфагорійці також виплекали пристрасть до математики. Згідно з «Метафізикою» Арістотеля, «піфагорійці, як їх називають, присвятили себе математиці: вони стали пер-

шими, хто просував це вчення, і, зростаючи в ньому, вони вважали його принципи принципами всього у світі»[2].

Їхнє захоплення математикою, можливо, було наслідком спостереження за музикою. Вони помітили: коли на якомусь струнному інструменті щипнути одночасно дві струни однакової товщини, складу та натягу, то звук буде приємним, якщо довжини цих струн порівнянні між собою як малі цілі числа. У найпростішому випадку одна струна чітко вполовину коротша за іншу. Сучасною мовою: звуки цих двох струн розділяє октава, і ми позначаємо породжені ними звуки однаковою літерою алфавіту. Якщо одна струна на дві третини коротша за іншу, то породжені ними дві ноти утворюють «квінту» — особливо приємне суголосся. Якщо одна струна на три чверті коротша за іншу, то вони породжують приємне суголосся під назвою «кварта». Натомість якщо довжини двох струн не порівнянні між собою як малі цілі числа (наприклад, якщо одна струна, скажімо, у 100 000/314 159 раза коротша за іншу) або не порівнянні між собою як цілі числа взагалі, тоді звук буде різким і неприємним. Сьогодні ми знаємо, що для того є дві причини: урегулювання періодичності звуку, породженого двома струнами за одночасної гри, та узгодження обертонів, породжених кожною струною (див. технічну примітку 3). Нічого з цього не розуміли ані піфагорійці, ані фактично ніхто інший, поки аж у XVII столітті не з'явилася робота французького священика Марена Мерсенна. Замість цього, за словами Арістотеля, піфагорійці вважали «все небо музичною шкалою»[3]. Ця ідея проіснувала ще довго. Наприклад, Цицерон у своєму творі «Про державу» розповідає історію, у якій привид видатного римського генерала Сципіона Африканського знайомить свого онука з музикою сфер.

Найбільшого прогресу піфагорійці досягли радше в математиці, ніж у фізиці. Усім відома теорема Піфагора про те, що площа квадрата, стороною якого є гіпотенуза прямокутного трикутника, дорівнює сумі площ двох квадратів, сторони яких є двома катетами цього трикутника. Але невідомо, хто з піфагорійців довів цю теорему (якщо це взагалі було) і як. Просте її доведення можна вивести з теорії пропорцій, яку запропонував піфагорієць Архіт Тарентський, сучасник Платона (див. технічну примітку 4). Складніше доведення представлене як припущення 46 Книги I «Начал» Евкліда. Архіт також розв'язав відому проблему: як, маючи куб, за допомогою суто геометричних методів побудувати інший куб точно вдвічі більшого об'єму.

Теорема Піфагора привела безпосередньо до іншого великого відкриття: геометричні побудови можуть включати в себе довжину, яку не можна виразити як відношення цілих чисел. Якщо кожна із двох сторін прямокутного трикутника, прилеглих до прямого кута, має довжину (у будь-яких одиницях вимірювання), що дорівнює 1, тоді загальна площа двох квадратів із такими катетами буде $1^2 + 1^2 = 2$. Тому, згідно з теоремою Піфагора, довжина гіпотенузи має становити число, квадрат якого дорівнює 2. Але ж легко продемонструвати, що число, квадрат якого дорівнює 2, не може бути виражене як відношення цілих чисел (див. технічну примітку 5). Доказ цього наведений у Книзі X «Начал» Евкліда, а крім того, його вже згадував раніше Арістотель у своїй «Першій аналітиці»[4] як приклад *reductio ad impossibile* (приведення до неможливого), але без зазначення першоджерела. Існує легенда, що це відкриття належить піфагорійцю Гіппасу, імовірно, родом із Метапонта на півдні Італії, якого чи то вигнали, чи то вбили піфагорійці за розголошення відкритого.

Сьогодні ми могли б описати це як відкриття, що такі числа, як, наприклад, квадратний корінь із 2, ірраціональні — вони не можуть бути виражені як відношення цілих чисел. Згідно із Платоном[5], Феодор Кіренський показав, що квадратні корені з 3, 5, 6... 15, 17... (тобто, хоч Платон цього й не каже, квадратні корені з усіх цілих чисел, крім 1, 4, 9, 16..., що є квадратами цілих чисел) ірраціональні в тому самому сенсі. Але давні греки не виразили б це так. Радше, як випливає із перекладу Платона, сторони квадратів, площі яких дорівнюють 2, 3, 5... квадратним одиницям, не порівнянні з однією одиницею вимірювання. Давні греки не мали поняття якихось чисел, окрім раціональних, тож для них величини на кшталт квадратного кореня із 2 могли мати лише геометричне значення, і це обмеження перешкоджало дальшому розвитку арифметики.

Традиція мати справу суто з математикою продовжилася в Академії Платона. Над її дверима нібито висіла табличка зі словами, що забороняли вхід туди необізнаним із геометрією. Сам Платон математиком не був, але до математики ставився прихильно, можливо, почасти через те, що під час подорожі на Сицилію, щоб стати наставником Діонісія Молодшого Сиракузького, він познайомився з піфагорійцем Архітом.

В Академії одним із математиків, що справив на Платона великий вплив, був Теєтет Афінський, який став головним персонажем одного із Платонових діалогів та об'єктом обговорення іншого. Теєтету при-

писують відкриття п'яти правильних тіл, що, як ми вже бачили, стали основою теорії елементів Платона. Доведення*, запропоноване в «Началах» Евкліда, що це єдині можливі випуклі правильні тіла, може належати Теєтету, який також зробив свій внесок до теорії того, що сьогодні називають ірраціональними числами.

Найвидатнішим еллінським математиком IV століття до н. е., схоже, був Евдокс Кнідський, учень Архіта й сучасник Платона. Хоч значну частину свого життя він прожив у місті Кнід на узбережжі Малої Азії, Евдокс навчався в Академії Платона, а пізніше повернувся, щоб там викладати. Жодних письмових робіт Евдокса не збереглося, але йому приписують розв'язання багатьох складних математичних проблем, як-от демонстрації, що об'єм конуса дорівнює одній третині об'єму циліндра з такими самими основою та висотою. (Не уявляю, як Евдокс міг зробити це без інтегрального числення.) Але його найбільшим внеском до математики стало запровадження точного стилю, у якому теореми виведені з чітко викладених аксіом. Саме цей стиль ми пізніше знаходимо в роботах Евкліда. Фактично Евдоксу приписують багато моментів, викладених в Евклідових «Началах».

Хоча розвиток математики Евдоксом та піфагорійцями був великим інтелектуальним досягненням, для природничих наук він мав як позитивні, так і негативні наслідки. Насамперед дедуктивний стиль математичних робіт, виплеканий в Евклідових «Началах», нескінченно імітували дослідники природничих наук там, де це було не надто доречно. Як ми побачимо нижче, роботи Арістотеля з природничих наук містять мало математики, але часом схожі на пародію на математичні міркування, як у його описі руху у «Фізиці»: «*A* тоді проходитиме крізь *B* у час *C*, а також крізь *D*, що тонше, у час *E* (якщо довжина *B* дорівнює *D*) пропорційно густині тіла, що заважає. Нехай *B* буде вода, а *D* — повітря»[6]. Можливо, найвидатнішою роботою з давньогрецької фізики є «Про плаваючі тіла» Архімеда, яку ми розглянемо в розділі 4. Цей твір написано як математичний текст із незаперечними постулатами, за якими йдуть виведені пропозиції. Архімед був достатньо розумний,

---

* Фактично (як розглянуто в технічній примітці 2), хай там що не довів Теєтет, «Начала» насправді не доводять, що є лише п'ять можливих випуклих правильних тіл. «Начала» справді доводять, що для правильних багатогранників є лише п'ять комбінацій числа сторін кожної грані поліедра та числа граней, що зустрічаються в кожній вершині, але не доводять, що для кожної комбінації цих чисел є лише один можливий випуклий правильний поліедр.

щоб вибрати правильні постулати, але наукове дослідження чесніше подавати як плетиво дедукції, індукції та здогадок.

Важливішим за питання стилю, хоч і пов'язаним із ним, є заохочувана математиками хибна мета: досягти достовірної істини за допомогою самого лише інтелекту. У дискусії про освіту філософів-царів у «Державі» Платон наводить аргумент Сократа, що астрономію слід вивчати так само, як і геометрію. Згідно із Сократом, дивитися в небо може бути корисно як поштовх для інтелекту так само, як дивитися на геометричну діаграму може бути корисно в математиці, але в обох випадках реальне знання приходить виключно через думку. Сократ у «Державі» пояснює, що «тими розмаїтими небесними узорами слід послуговуватися як прикладами у вивченні речей правдивих»[7].

Математика є засобом, за допомогою якого ми виводимо наслідки фізичних принципів. Ба більше, це невід'ємна мова, якою виражені принципи фізичної науки. Вона часто навіює нові ідеї щодо природничих наук, а потреби науки, у свою чергу, часто просувають розвиток математики. Робота фізика-теоретика Едварда Віттена забезпечила такий великий прогрес у математиці, що 1990 року він був нагороджений однією з найвищих нагород у галузі математики — медаллю Філдса. Але математика не є природничою наукою. Сама по собі математика без спостереження нічого не може розповісти нам про світ. А спостереженням за світом математичні теореми не можна ані підтвердити, ані спростувати.

У Стародавньому світі й навіть на початку нашого часу цього не знали. Ми вже бачили, що Платон та піфагорійці вважали такі математичні об'єкти, як числа чи трикутники, основними складниками природи, а нижче побачимо, що деякі філософи уявляли собі математичну астрономію галуззю математики, а не природничих наук.

Сьогодні відмінність між математикою та природничими науками встановлена доволі чітко. Для нас залишається загадкою, чому математика, винайдена з причин, ніяк не пов'язаних із природою, часто виявляється корисною у фізичних теоріях. У своїй відомій статті[8] фізик Юджин Віґнер писав про «незбагненну ефективність математики». Але загалом ми без проблем відрізняємо ідеї математики від принципів природничих наук, принципів, що врешті обґрунтовуються спостереженнями за світом.

Сьогодні конфлікти між математиками та натуралістами іноді виникають загалом через проблему математичної чіткості. З початку XIX сто-

Видавництво «Клуб Сімейного Дозвілля» пропонує розміщення реклами на нашій книжковій продукції : логотипи, закладки, флаєри, листівки, буклети тощо.

Наші конкурентні переваги:

- вашу рекламу буде представлено в найбільшій дистрибуційній мережі України (у 70 книжкових магазинах видавництва «КСД»);
- також на полицях понад 400 бізнес-партнерів (українські книгарні, продуктові та будівельні маркети);
- ви отримаєте доступ до широкої цільової аудиторії (читачі віком від 20 до 40 років, серед них основна частина — від 25 до 35 років; 55—60 % наших покупців становлять жінки);
- ми видаємо бестселери художньої та нонфікшн літератури, які перебувають у топі вітчизняних книгарень.

З пропозиціями звертайтеся за адресою:
trade@ksd.ua