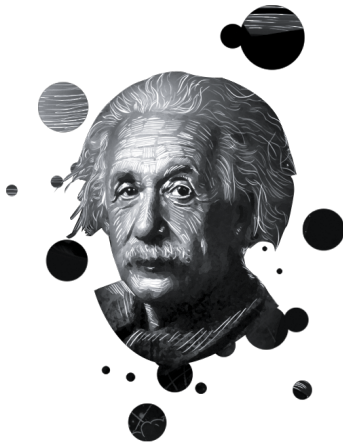


КАРЛО РОВЕЛЛІ

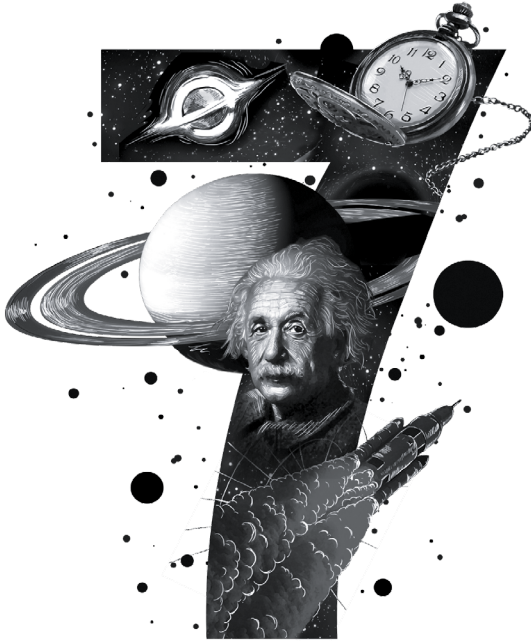


ОСНОВНИХ УРОКІВ  
З ФІЗИКИ

КЛУБ  
СІМЕЙНОГО  
ДОЗВІЛЛЯ



CARLO ROVELLI

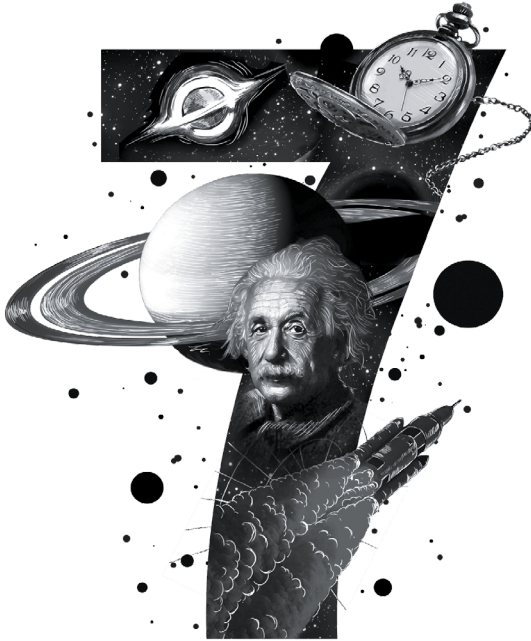


# BRIEF LESSONS ON PHYSICS



ALLEN LANE  
*an imprint of*  
PENGUIN BOOKS

КАРЛО РОВЕЛЛІ



# ОСНОВНИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

ХАРКІВ **КЛУБ**  
2016  СІМЕЙНОГО  
ДОЗВІЛЛЯ

УДК 524.8  
ББК 22.68  
P58

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

First published in Italian under the title  
*Sette brevi lezioni di fisica* by Carlo Rovelli, 2015

Перекладено за виданням:  
Rovelli C. *Seven Brief Lessons on Physics* / Carlo Rovelli. —  
London : Allen Lane an imprint of Penguin Books, 2015. — 88 p.

Переклад з англійської *Aními Луїс*

Дизайнер обкладинки *Олег Щегель*

ISBN 978-617-12-2366-0 (PDF)

© Carlo Rovelli, 2015  
© Nemigo Ltd, видання українською мовою, 2016  
© Книжковий Клуб «Клуб Сімейного Дозвілля», переклад і художнє оформлення, 2016

# ЗМІСТ

<i>Передмова</i> .....	6
<b>УРОК 1.</b> Найпрекрасніша з теорій .....	9
<b>УРОК 2.</b> Квант .....	21
<b>УРОК 3.</b> Архітектура Всесвіту .....	31
<b>УРОК 4.</b> Частинки .....	41
<b>УРОК 5.</b> Зернини космосу .....	51
<b>УРОК 6.</b> Ймовірність, час і тепло чорних дір .....	65
<i>На завершення: Хто ми є?</i> .....	80

# ПЕРЕДМОВА

Ці уроки створені для тих, хто знає мало або зовсім нічого не знає про сучасну науку. У них подано експрес-огляд найцікавіших аспектів великої революції, що відбулась у фізиці в ХХ столітті, а також запитань і таємниць, які ця революція відкрила людству. Адже наука показує не тільки шляхи до кращого розуміння світу, а й величезний обсяг невідомого.

Перший урок присвячений загальній теорії відносності Альберта Ейнштейна, «найпрекрасніший з теорій». Другий — квантовій механіці, в якій розглядаються найбільш таємничі аспекти сучасної фізики — що й досі лишаються нерозкритими. Третій урок присвячено космосу: архітектурі Всесвіту, який ми населяємо; четвертий — елементарним частинкам. На п'ятому уроці ми розглянемо квантову гравітацію. У шостому уроці йдеться про ймовірність існування чорних дір і про

## ПЕРЕДМОВА

їх випромінювання. У заключному розділі книжки ми поміркуємо, чи можливо зрозуміти наше існування, описавши світ з точки зору фізики.

Ці уроки — серія статей, опублікованих автором у недільному додатку до італійської газети «Sole 24 ore» («Сонце. Протягом 24 годин»). Я хотів би подякувати, зокрема, Армандо Массаренті за відкриття в ній спеціалізованих сторінок, присвячених науці. Це дає змогу висвітлювати багато життєво важливих питань.





1

НАЙПРЕКРАСНІША  
З ТЕОРІЙ

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

В юності Альберт Ейнштейн майже цілий рік вештався без певної мети. Ви не дістанетесь нікуди, не гаючи часу, — дрібничка, про яку зазвичай забувають батьки підлітків. Альберт відмовився від освіти в Німеччині, бо не витримав строгих правил закладу, де навчався, і жив у Павії із сім'єю. Це був початок ХХ століття, який в Італії збігся з початком промислової революції. Альбертів батько, інженер, працював на будівництві електростанції, першої на Падуанській рівнині. Альберт читав Канта, а іноді, як вільний слухач, відвідував лекції в університеті Павії: для задоволення, без реєстрації та необхідності непокоїтися про іспити — от так і формувалася майбутній визначний вчений!

Згодом Альберт Ейнштейн вступив до Цюрихського університету і поринув у вивчення фізики. У 1905 році він відправив три статті до найпрестижнішого наукового журналу того часу, «Annalen der Physik». Кожна з них була гідна Нобелівської премії. У першій Ейнштейн доводив, що атоми справді існують. У другій — закладав першооснови квантової механіки. У третій — виклав свою першу теорію відносності (відому в наш час як «спеціальна теорія відносності»), пояснивши, яким чином для різних людей час плине не однаково: двоє близнюків різняться за віком, якщо один з них подорожував на великій швидкості.

## УРОК 1. НАЙПРЕКРАСНІША З ТЕОРІЙ

Ейнштейн прокинувся знаменитим і одразу ж отримав від різних університетів пропозиції щодо працевлаштування. Але Альберта щось турбувало: попри негайне визнання теорія відносності не відповідала знанням про гравітацію, а саме уявленням про те, яким чином речі падають. Ейнштейн усвідомив це, пишучи статтю, в якій мав узагальнити свою теорію; він зацікавився питанням, як сумістити з новою концепцією відносності закон всесвітнього тяжіння, сформульований батьком фізики, Ісааком Ньютоном. Ейнштейн з головою поринув у проблему, але для її вирішення знадобилося десять років — десятиліття шалених досліджень, спроб, плутанини, помилкових статей, геніальних і хибних ідей.

Нарешті, у листопаді 1915 року, Ейнштейн підготував до друку статтю, що являла собою повне розв'язання задачі: нову теорію гравітації, яку він назвав «загальна теорія відносності». Як сказав великий російський фізик Лев Ландау, це найпрекрасніша з теорій.

Існують шедеври, які зворушують надзвичайно сильно: «Реквієм» Моцарта, «Одіссея» Гомера, «Король Лір» Шекспіра, Сікстинська капела... Щоб повною мірою оцінити їх, може знадобитися тривале навчання, зате

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

винагородою є відчуття чистої краси — і не тільки це. Нам відкриваються очі, виникає новий погляд на світ. Діамант Ейнштейнового доробку, загальна теорія відносності, — шедевр того самого рівня.

Я пам'ятаю хвилювання, яке відчув, коли почав щось у цьому розуміти. Це було влітку. Я відпочивав на пляжі в Кондофурі в Калабрії, огорнений сонячним сяйвом еллінського Середземномор'я. Це був останній рік навчання в Болонському університеті. Зосереджена на навчанні людина найкраще вчиться під час канікул. Особисто я осягав науку з книжкових сторінок, обгризених мишами, адже вночі використовував книжки для блокування цих бідолашних створінь у їхніх нірках у доволі пошарпаному хіпуватому будиночку на схилі умбрійського пагорба, де я зазвичай ховався від нудьги університетських занять. Щоразу, а бувало це доволі часто, як я піднімав очі від книжки і милувався морськими хвилями в сонячних блискітках, мені здавалося, що я насправді бачу викривлення простору і часу так, як їх уявляв Ейнштейн. Як за помахом чарівної палички: так ніби друг шепоче тобі на вухо якусь надзвичайну, глибоко приховану таємницю, раптово піднімаючи завісу реальності, щоб розкрити простіший, глибинний порядок світобудови. Відтоді як люди виявили, що Земля кругла і крутиться як навіжена дзиґа,

## УРОК 1. НАЙПРЕКРАСНІША З ТЕОРІЙ

вони зрозуміли, що реальність не така, як її бачать: щоразу ми розкриваємо якийсь новий її аспект, це глибоко емоційне переживання. Так впала ще одна завіса.

Але впродовж людської історії стрибків уперед, які один за одним здійснювались на шляху до розуміння світу, ейнштейнівський не має собі рівних. Чому?

Насамперед, тому що як тільки ви зрозумієте, як працює його теорія, ви побачите, яка вона захопливо проста.

Підсумую.

Ньютон доклав зусиль, щоб пояснити, чому речі падають, а планети обертаються. Він уявив існування сили, що притягує матеріальні тіла одне до одного, і назвав її силою гравітації. Але як ці сили діють між тілами віддаленими, між якими, здавалося б, нічого не відбувається, було невідомо — і великий батько сучасної науки остерігався висувати гіпотези. Ньютон уявляв, що тіла рухаються крізь простір і що простір — це гігантський порожній контейнер, велетенська коробка, що містить у собі Всесвіт, дивовижна структура, крізь яку всі об'єкти рухаються правильно, аж поки сила не змушує їхню траєкторію викривитись. З чого зроблений цей простір,

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

цей контейнер зі світом, який він винайшов, Ньютон не міг пояснити.

За кілька років до народження Ейнштейна двоє великих британських фізиків, Майкл Фарадей і Джеймс Максвелл, додали до холодного ньютонівського світу ключовий інгредієнт — електромагнітне поле. Це поле — об'єктивна реальність, що проникає скрізь, переносить радіохвилі, наповнює простір, вібрує і коливається, як поверхня озера, а також транспортує електричну силу. З юності Ейнштейн був просто в захваті від електромагнітного поля, здатного обертати ротори електростанції, збудованої його батьком, і скоро зрозумів, що гравітація, як і електрика, має переноситися за допомогою поля: гравітаційне поле має існувати як аналог електричного поля. Ейнштейн прагнув зрозуміти, як це гравітаційне поле працює і як його описати за допомогою рівнянь.

І саме в цей момент у нього раптово виникла надзвичайна ідея, доторк чистого генія: гравітаційне поле не пронизує простір; гравітаційне поле — це, власне, і є сам простір. Це ідея теорії загальної відносності. Ньютонівський простір, крізь який рухаються предмети, і гравітаційне поле — те саме.

## УРОК 1. НАЙПРЕКРАСНІША З ТЕОРІЙ

Це був момент осяяння. Відбулося миттєве спрощення уявлення про світобудову: простір більше не є чимось відділеним від матерії, він один із матеріальних компонентів світу, об'єктивна реальність, що хвилеподібно рухається, гнеться, викривлюється, скручується. Ми не вміщені всередину невидимої сталої інфраструктури, ми наче закручені в гнучкій мушлі гігантського равлика. Сонце вигинає простір навколо себе, і Земля не рухається навколо нього не завдяки якійсь таємничій силі, а тому, що вона скочується — через нахил простору, подібно до мармурової кульки, яка котиться ринвою. Жодні таємничі сили не генеруються в центрі ринви, це просто вигнута форма її стінок змушує кульку скочуватись. Планети рухаються навколо сонця, і предмети падають, бо простір викривлюється.

Як можна описати це викривлення простору? Найвідоміший математик XIX століття, Карл Фрідріх Гаусс, названий князем математиків, записав математичні формули, щоб описати двомірні криволінійні поверхні пагорбів. Потім він попросив свого обдарованого студента узагальнити теорію, щоб розмістити простори в трьох і більше вимірах. Студент, а ним виявився Бернгард Ріман, створив таку приголомшливу докторську дисертацію, що вона здавалась абсолютно непри-



## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

датною: властивості викривленого простору втілюються в окремих математичних об'єктах, який позначається літерою  $R$  і який ми знаємо як Ріманову кривизну. Ейнштейн написав рівняння, де  $R$  еквівалентне енергії матерії. Таким чином стверджується: викривлення простору є там, де є матерія. Ось так! Рівняння займає лише піврядка. Образ простору, що викривлюється, стає рівнянням.

Але всередині рівняння народжується Всесвіт. Теорія з чарівною щедрістю народжує фантазмагоричну послідовність передбачень, які схожі на безтямну маячню божевільного і які, тим не менш, підтверджуються. Почнімо хоча б з того, як простір вигинається навколо зірки, завдяки цьому не тільки виникають орбіти планет, а й світло перестає рухатись по прямій лінії і відхиляється. Ейнштейн висунув теорію, що Сонце — причина відхилення світла. У 1919 році це відхилення було виміряне, і теорія підтвердилася. Ейнштейн висунув ідею, що поблизу Сонця час біжить швидше, ніж поблизу Землі (тобто сповільнення часу більше там, де гравітація сильніша). Згодом це підтвердилося. Якщо людина, яка прожила певний час на рівні моря, зустрінеться зі своїм близнюком, який жив високо в горах, то виявить, що двійник дещо старший.

## УРОК 1. НАЙПРЕКРАСНІША З ТЕОРІЙ

І це тільки початок.

Коли велика зірка спалює все своє паливо (водень), вона згасає. Тиску від жару залишків уже не досить, щоб протистояти власній вазі, і зірка колапсує, вигинаючи простір до такої міри, що утворюється справжня діра. Це і є знамениті чорні діри. Коли я вчився в університеті, їх вважали ледь вартими довіри передбаченнями таємничої теорії. Сьогодні астрономи спостерігають за сотнями чорних дір і детально їх вивчають.

Але і це ще не все. Ейнштейнове рівняння показує, що простір не може бути сталим, він *мусть* розширюватись. У 1930 році розширення простору справді було виявлено. Те саме рівняння передбачає, що розширення мало початися з вибуху юного, надзвичайно малого й екстремально гарячого всесвіту: з того, що ми тепер знаємо як Великий Вибух.

Спершу ніхто цьому не вірив. Але проводили все більше спостережень, факти накопичувалися, аж поки не було доведено існування фонового випромінювання — розсіяних відблисків, що залишилися від тепла, спричиненого початковим розширенням Всесвіту. Пророцтво, що постало з рівняння Ейнштейна, справдилося. І більше

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

того, теорія стверджує, що космос рухається подібно до поверхні моря. Ефект подібних гравітаційних хвиль спостерігається в небі (приклад: подвійні зірки) і, згідно з прогнозами теорії, з приголомшливою точністю: один до ста мільярдів. І так далі.

Коротше кажучи, теорія описує барвистий і захопливий світ, де всесвіти вибухають, простір колапсує, утворюючи бездонні діри, час сповільнюється поблизу планети, безмежний обшир міжзоряного простору пульсує і розгойдується, як поверхня моря. І все це, що поступово з'ясується з моєї обгризеної мишами книжки, не є оповіддю ідіота у нападі безумства чи галюцинацією, спричиненою гарячим середземноморським сонцем Калабрії та сліпучо осяйним морем. Це реальність. Точніше — натяк, проблеск реальності, трохи менш завуальованої, ніж наше розпливчате і банальне щоденне її бачення. Реальність, що, здавалося б, виготовлена з тієї самої субстанції, з якої зроблені наші мрії, але більш життєздатна, ніж наше захмарене щоденне мріяння.

Усе це результат елементарної інтуїції: простір і гравітаційне поле — те саме. Не можу не навести тут формулу, якщо навіть ви не будете в змозі її розшифрувати. Але, можливо, хтось оцінить її дивовижну простоту.

## УРОК 1. НАЙПРЕКРАСНІША З ТЕОРІЙ

$$Rab - 1/2 R gab = Tab$$

Ось вона. Вам, звичайно, доведеться пройти курс навчання і засвоїти Ріманову математику, щоб досягнути техніку читання і використання цього рівняння. Це потребуватиме трохи терпіння і зусиль. Але менше, ніж потрібно, наприклад, щоб поцінувати рідкісної краси струнний квартет пізнього Бетховена. В обох випадках нагородою буде чиста краса — і нові очі, щоб по-новому побачити світ.



2

КВАНТ

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

Два стовпи, на яких стоїть фізика ХХ століття, — загальна теорія відносності, про яку йшлося у попередньому уроці, і квантова механіка, з якою матимемо справу тут. Немає теорій, які відрізняються одна від одної більше, ніж ці. Обидві теорії вчать нас, що тонка структура природи — ще менш вловима, ніж може здаватися. Але загальна теорія відносності — це, так би мовити, компактна коштовність, створена силою єдиного розуму, а саме Альбертом Ейнштейном, це просте і послідовне бачення гравітації, простору і часу. Квантова механіка, або квантова теорія, отримала незрівнянні експериментальні результати, і її застосування кардинально змінило наше повсякденне життя (комп'ютер, на якому я набираю текст, — цьому приклад), але навіть через століття після народження вона залишається незрозумілою і таємничою.

Квантова механіка виникла у 1900 році і проголосила століття напружених інтелектуальних зусиль. Німецький фізик Макс Планк обчислив електричне поле, врівноважене в нагрітій ємності. Щоб зробити це, він вдався до трюку: уявив, що енергія поля поширюється в «квантах», що означає «в пакунках» чи «грудочках» енергії. Результат абсолютно відповідав меті обчислення (і тому в цій моделі мусить бути правильним), але суперечив усьому, що було відомо на той час. Вважалося, що енер-

## УРОК 2. КВАНТ

гія — це величина, яка змінюється неперервно, і не було причин розглядати її як таку, що складається з маленьких дискретних порцій. Для самого Планка розбиття енергії на порції було просто дотепним способом обчислень, і він сам цілком не розумів причин результативності цього методу. І саме Ейнштейн п'ять років по тому дійшов висновку, що ці порції енергії реальні.

Ейнштейн показав, що світло складається з частинок. Сьогодні ми називаємо їх фотонами. У вступі до своєї статті він писав: «Мені здається, що дослідження, пов'язані з випромінюванням абсолютно чорного тіла, флуоресценцією, утворенням катодних променів під дією ультрафіолетового світла, та з іншими, спорідненими з цим феноменами, що стосуються емісії або трансформації світла, були б успішнішими, якби дослідник припускав, що світлова енергія переривчасто розподіляється в просторі. Згідно з припущенням, що розглядається, енергія світлового променя, що поширюється від точечного джерела, не розподілена неперервно в просторі, а складається зі скінченної кількості енергетичних квантів, що локалізовані в певних точках простору і рухаються не подрібнюючись та можуть утворюватися або поглинатися лише цілком окремими одиницями».



## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

Ці прості і ясні рядки є справжнім свідощвом про народження квантової теорії. Зверніть увагу на дивовижний початок: «мені здається...», що нагадує «я думаю...», яким Дарвін у своєму записнику починав формулювання великої ідеї еволюції видів, і «сумніви», висловлені Фарадеєм, коли він ознайомлював світ з революційною ідеєю магнітних полів. Геній сумнівається.

Робота Ейнштейна від початку сприймалася колегами як абсурд. Згодом ця сама робота буде нагороджена Нобелівською премією. Якщо Планк є батьком квантової теорії, то Ейнштейн — той, хто її виплекав.

Але, як усі нащадки, теорія з часом пішла своєю дорогою, незнаною самим Ейнштейном. У 1920–1930-х роках її почав розвивати данець Нільс Бор. Саме він зрозумів, що енергія електронів в атомах може набувати лише певних значень, подібно до енергії світла, і ключовим є те, що електрони можуть тільки перестрибувати з однієї атомної орбіти на іншу з певними енергіями, під час стрибка випромінюючи або поглинаючи фотон. Це і є знамениті «квантові стрибки».

Саме в Копенгагенському інституті найбільш блискучі молоді вчені століття зібрались для спільних досліджень,

## УРОК 2. КВАНТ

намагаючись навести лад у незбагнених аспектах поведінки атома та збудувати на цій основі послідовну теорію. У 1925 році нарешті з'явилося рівняння нової теорії, яке замінило загальну механіку Ньютона. Важко уявити значніше досягнення. Один доторк — і все набуває сенсу, стає можливим обчислити що завгодно.

Наведемо один приклад. Чи ви пам'ятаєте періодичну таблицю елементів Менделєєва, який записав усі можливі елементи, з яких складається Всесвіт, від водню до урану? Ця таблиця висить на стіні майже в кожному класі. Чому ж у ній записані саме ці елементи та чому вона має саме таку структуру, з саме такими періодами і з елементами, що мають саме такі специфічні властивості? Тому що кожен елемент відповідає одному рішенням основного рівняння квантової механіки. Ціла наука — хімія — ґрунтується на одному рівнянні.

Першим написав рівняння нової теорії, базуючи їх на шалених запаморочливих ідеях, геніальний молодий німець, Вернер Гейзенберг. Він уявляв, що електрони *не завжди* існують. Вони є лише тоді, коли хтось або щось спостерігає за ними, чи, краще сказати, — коли електрони взаємодіють із чимось іншим. Вони матеріалізуються в конкретному місці з обчислюваною ймовірністю,

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

коли зіштовхуються з чимось іншим. Квантові стрибки з однієї орбіти до іншої — це єдиний засіб, який вони мають, щоб бути реальними: електрон, таким чином, — це набір стрибків від однієї взаємодії до іншої. Коли ніщо його не турбує, він не має точного місця. Він взагалі не перебуває на жодному місці. Це так, якби Бог створював світ не за допомогою ліній, що їх непросто стерти, а наніс його пунктиром у вигляді нечіткої схеми.

У квантовій механіці об'єкт не має визначеного розташування, допоки не зіштовхнеться з чимось іншим. Щоб описати такі об'єкти між взаємодіями, ми використовуємо абстрактні математичні формули, що мають сенс не в реальному просторі, а лише в абстрактному математичному світі. Але гірше попереду: ці стрибкоподібні взаємодії, що переміщують об'єкт з одного місця в інше, трапляються не якимось передбачуваним чином, а є переважно випадковими. Неможливо передбачити, де електрон знову з'явиться, можна тільки вирахувати *ймовірність*, що він вигулькне тут чи там. Питання ймовірності постає в самому серці фізики, де, здавалося б, усе підкорюється чітким, непохитним та незмінним універсальним законам.

Чи не здається це абсурдом? Це здалось абсурдним Ейнштейну... З одного боку, він висуває Гейзенберга на Но-

## УРОК 2. КВАНТ

белівську премію, визнаючи, що він зрозумів про світ щось фундаментальне, з іншого — ніколи не упускає шансу побурчати, що все це не має особливого сенсу. Молоді леви з Копенгагенської групи були в сум'ятті: як можливо, щоб Ейнштейн думав так? Їхній духовний батько, який мав мужність думати про, здавалося б, неосяжне для людського розуму, відступає і боїться стрибка в невідомість, до якого сам спонукав. Той самий Ейнштейн, котрий показав, що час не є універсальним, а простір є викривленим, тепер стверджує, що світ не може бути *аж таким дивовижним*.

Бор терпляче розтлумачує Ейнштейну нові ідеї. Ейнштейн завзято заперечує. Він проводить ментальні експерименти, щоб продемонструвати суперечливість нових ідей: «Уявіть коробку, наповнену світлом; і от ми даємо одному фотону можливість втекти звідти на певний час...» — так починається його знаменитий уявний експеримент з «коробкою світла».

Бор завжди знаходив аргументовану відповідь, щоб відбити подібні «атаки». Протистояння двох вчених тривало впродовж років, у формі лекцій, листів, статей... Обом великим людям доводилось коректувати і змінювати спосіб мислення. Кінець кінцем Ейнштейн визнав, що в нових

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

ідеях немає аж таких суперечностей. Бору ж довелося змиритися з тим, що речі не такі прості, як він вважав.

Ейнштейн не хотів поступатися тим, що для нього було ключовим пунктом: існує об'єктивна реальність, незалежна від того, що і з чим взаємодіє. Бор не міг поступитись цінністю принципово нового шляху, на якому реальність була концептуалізована новою теорією.

Нарешті Ейнштейн визнав, що нова теорія — гігантський крок вперед на шляху до розуміння світу, але лишився переконаним, що речі не можуть бути такими дивними, як пропонується нею, і що десь за рамками цієї теорії має бути більш загальне, більш прийнятне для здорового глузду пояснення.

Минуло століття, а ми перебуваємо в тій самій точці. Рівняння квантової механіки та висновки з них щодня використовуються в найрізноманітніших галузях фізиками, інженерами, хіміками та біологами. Вони надзвичайно корисні для всіх сучасних технологій (без квантової механіки не було б, скажімо, транзисторів). Але ці рівняння лишаються таємничими, адже ними неможливо описати, що відбувається у фізичній системі, а тільки те, як одна фізична система впливає на іншу.

## УРОК 2. КВАНТ

Основну реальність системи описати неможливо. Чи значить це, що нам не вистачає частини головоломки? Чи значить це, що ми маємо прийняти те, що реальність — тільки взаємодія? Обсяг наших знань зростає. Це дозволяє нам робити те, чого ми колись навіть уявити не могли. Але прогрес поставив перед нами нові питання.

Рівняння квантової теорії застосовуються в лабораторіях. Але в статтях і на конференціях, кількість яких значно зросла, фізики та філософи продовжують науковий пошук. Що ж таке квантова теорія за століття після народження? Надглибоке занурення в природу реальності? Рух навімання, що призводить до випадкових результатів? Частинка незібраного пазла? Чи дороговказ до чогось важливого у структурі світу, який ми досі не можемо правильно зрозуміти?

Коли Ейнштейн помер, його багаторічний суперник Бор знайшов для нього слова, сповнені зворушливого захвату. Коли за кілька років помер Бор, хтось сфотографував дошку в його кабінеті — на ній був малюнок «наповненої світлом коробки» з ейнштейнівського уявного експеримента.

До останнього прагніть випробувати самих себе, щоб зрозуміти більше. До останнього сумнівайтесь.



# 3

АРХИТЕКТУРА  
ВСЕЧБИТУ



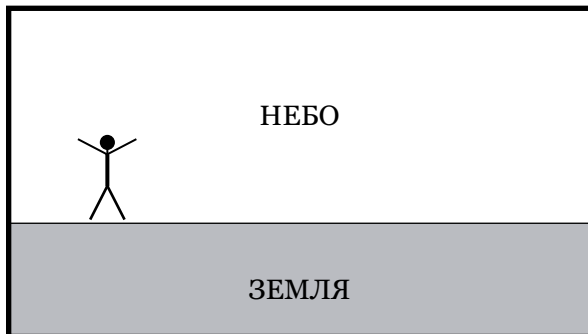
## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

У першій половині ХХ століття Ейнштейн описав механізм простору і часу, Нільс Бор та його молоді послідовники описали за допомогою рівнянь дивну квантову природу матерії. У другій половині ХХ століття фізики використовували ці два фундаменти для вивчення широкого спектру явищ: від макрокосмічної структури Всесвіту до мікрокосму елементарних частинок. Про перше зі згаданого я буду говорити в цьому уроці, а про друге — в наступному.

Цей урок складається переважно з простих малюнків. Причина така: до всіх експериментів, до виникнення вимірювання, математики та строгої дедукції, наука — перш за все бачення. Наука починається з візуального сприйняття. Наукова думка живиться здатністю бачити речі інакше, ніж вони вже були побачені (у повсякденні). Пропоную коротенький скромний начерк подорожі між баченнями.

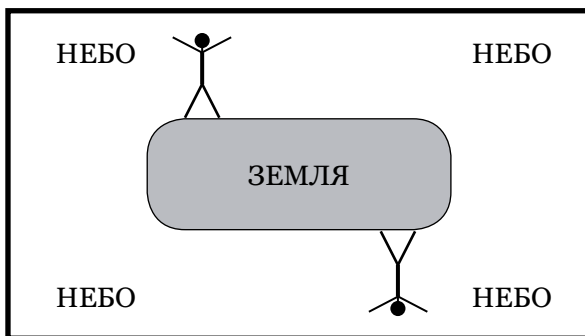
На малюнку 1 зображено, що концепція космосу являла собою протягом тисячоліть: Земля — внизу, небо — вгорі. Перша велика наукова революція була здійснена двадцять шість років тому Анаксимандром, коли він спробував зобразити, як Сонце, Місяць і зорі обертаються навколо нас, що змінило картинку космосу: небо навколо

### УРОК 3. АРХІТЕКТУРА ВСЕСВІТУ



Мал. 1

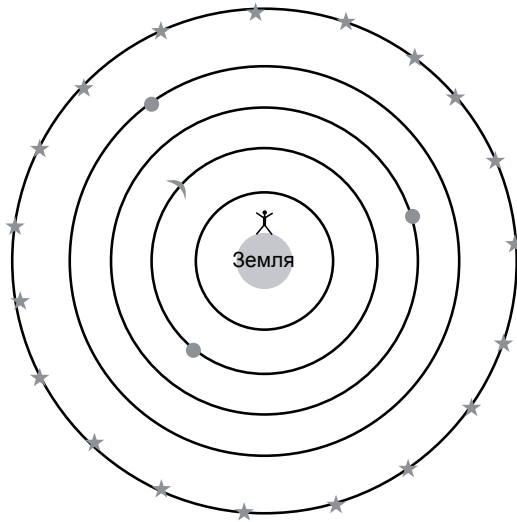
Землі, а не тільки над нею (мал. 2). Антична Земля — величезний камінь, що плаває, зависаючи в космосі. Скорочто хтось (чи то Парменід, чи то Піфагор) усвідомив, що сфера — найбільш зручна форма для цієї Землі, яка літає і для якої всі напрямки однакові.



Мал. 2

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

Аристотель, своєю чергою, навів достатні наукові аргументи на підтвердження сферичної природи як Землі, так і неба навколо неї, де небесні об'єкти рухаються кожен своїм курсом. Ось, як результат, зображення Аристотелевого космосу.

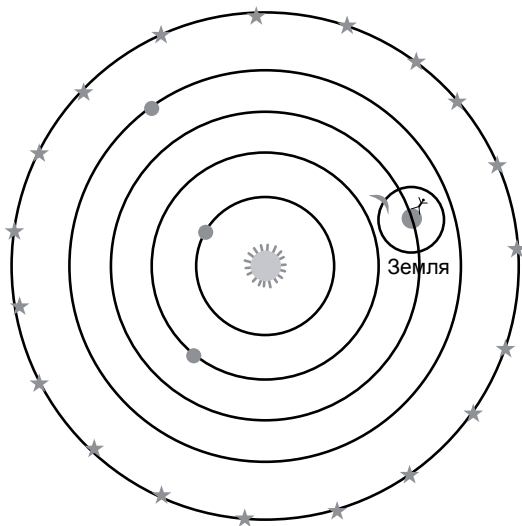


*Мал. 3*

Цей космос, описаний Аристотелем у книжці «На небесах», є образом світу, що лишався характерним для середземноморської цивілізації аж до кінця Середньовіччя. Це образ Всесвіту, що його Данте і Шекспір вивчали в школі.

### УРОК 3. АРХІТЕКТУРА ВСЕСВІТУ

Наступний стрибок, здійснений Коперником, ознаменував те, що можна назвати великою науковою революцією. Всесвіт Коперника не надто відрізняється від Аристотелевого:



Мал. 4

Але тут є ключова відмінність. Взнявши за основу ідею, уже визнану в античності, Коперник дещо зрозумів і показав, що Земля не перебуває в центрі хороводу планет, а Сонце — в центрі замість неї. Наша планета стала такою самою, як інші планети, однією з кількох, які з великою швидкістю обертаються навколо своєї осі та навколо Сонця.

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

Наші знання зростали, прилади астрономів ставали кращими і більш точними, тож стало відомо, що Сонячна система — лише одна серед величезної кількості собі подібних і що Сонце — зірка, така як мільярди інших, безкінечно мала піщинка у величезній хмарі з сотень мільярдів зірок — галактиці (мал. 5).



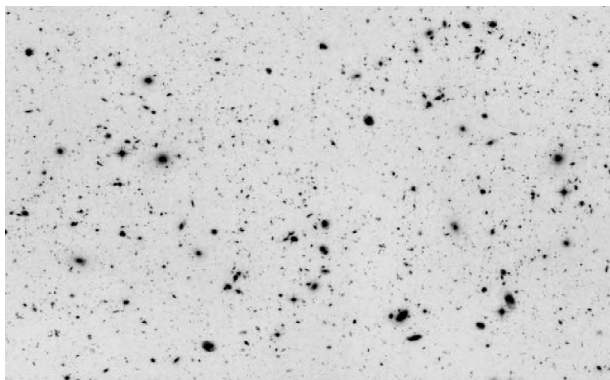
Мал. 5

У 30-х роках ХХ століття астрономам вдалося точно визначити параметри туманностей — малих білуватих скупчень серед зірок.

Це дало розуміння того, що наша галактика є лише пилинкою у величезній хмарі галактик, що простягаються так далеко, як тільки може бачити око, навіть озброєне найпотужнішими телескопами. Світ став безмежним.

### УРОК 3. АРХІТЕКТУРА ВСЕСВІТУ

Ілюстрація внизу — не малюнок; це фотографія, зроблена за допомогою розміщеного на орбіті телескопа Габбла. Він дає незрівнянно чіткіше зображення неба, ніж хто-небудь міг раніше бачити за допомогою потужних телескопів: неозброєному оку це здавалося б малесеньким клаптиком абсолютно чорного неба. Крізь телескоп Габбла величезні віддалені об'єкти з'являються на світліні як пил. Кожна темна крапка — це зображення галактики, що містить сотні мільярдів сонць, подібних до нашого. Спостереження останніх кількох років показали, що навколо більшості цих зірок обертаються планети. Можливо, у Всесвіті є тисячі мільярдів мільярдів мільярдів планет, подібних до Землі. І хоч би в якому напрямку ми подивилися — з'являється ось що:

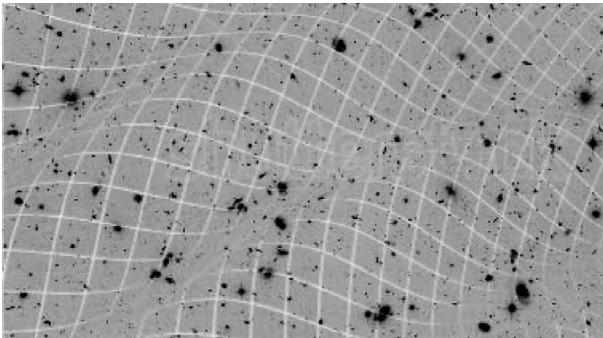


*Мал. 6*

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

Але ця безкінечна одноманітність — зовсім не те, що здається. Як я пояснював у першому уроці, простір не плоский, а викривлений. Нам складно уявити текстуру Всесвіту з його спалахами галактик, що рухаються на хвилях, подібних до морських, інколи таких бурхливих, що утворюються отвори, які ми звемо чорними дірами. Що ж, погляньмо знову на зображення, щоб презентувати цей всесвіт, поораний велетенськими хвилями.

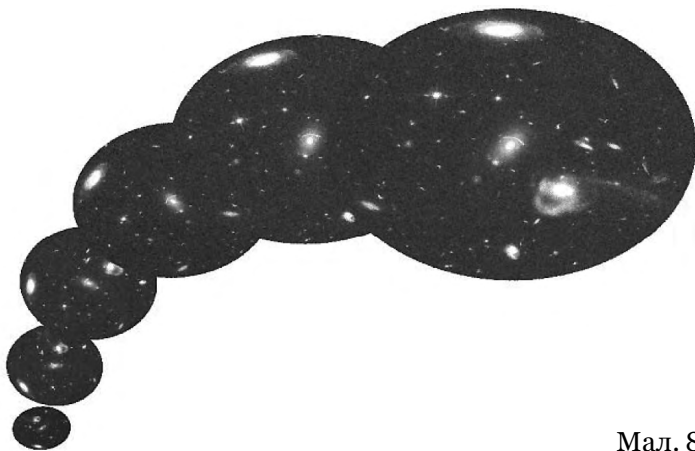
Ми знаємо, що цей безмежний еластичний всесвіт засіяний галактиками й ось уже п'ятнадцять мільярдів років створюється з надзвичайно гарячої та щільної малої хмарки. Щоб репрезентувати це бачення, нам не потрібно більше зображувати всесвіт, але слід зобразити його повну історію. У вигляді діаграми вона зображена на мал. 8:



*Мал. 7*

### УРОК 3. АРХІТЕКТУРА ВСЕСВІТУ

Всесвіт починався як маленька кулька, що вибухнула, набувши згодом теперішніх космічних розмірів. Це наш сучасний образ Всесвіту в найбільшому масштабі, який тільки може бути відомий. Чи є щось іще? Чи було щось перед тим? Можливо, так.



Мал. 8

Я розкажу про це через пару уроків. Чи існують інші всесвіти, подібні до нашого чи абсолютно відмінні від нього? Ми не знаємо.





4

ЧАСТИНКИ

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

У всесвіті, описаному в минулому уроці, світло і тіла рухаються. Світло складається з фотонів, частинок світла, які інтуїтивно прозрівав Ейнштейн. Речі, що ми бачимо, складаються з атомів, кожен атом — із ядра, оточеного електронами, кожне ядро — зі щільно упакованих протонів і нейтронів. І протони, і нейтрони складаються з навіть ще менших частинок, які американський фізик Мюррей Геллман назвав кварками. Його надихнуло абсурдне слово в абсурдній фразі з твору Джеймса Джойса «Поминки за Фіннеганом» — «Три кварки для Мастера Марка!» Усе, чого ми торкаємось, складається з електронів і цих самих кварків.

Сила, що склеює кварки всередині протонів і нейтронів, генерується частинками, що їх фізики дещо жартома назвали «глюони»<sup>1</sup>.

Електрони, кварки, фотони і глюони — компоненти всього, що «гойдається» у просторі навколо нас. Це і є елементарні частинки, що їх вивчає фізика елементарних частинок. До них ми можемо додати нейтрино, що мчать крізь всесвіт і мало взаємодіють з нами, а також бозони

---

<sup>1</sup> Від англ. *glue*, «клей». (Тут і далі прим. пер.).

## УРОК 4. ЧАСТИНКИ

Гігса, відкриті нещодавно в ЕОЯДі<sup>1</sup>, на великому електронно-позитронному коллайдері в Женеві. Але їх зовсім не так багато, фактично менше ніж десять типів. Жменька елементарних інгредієнтів, що діють як деталі гігантського набору «Лего», з яких, власне, і сконструйована матеріальна реальність, що нас оточує.

Природа цих частинок та способи їхнього руху описуються квантовою механікою. Ці частинки не можна уявляти як камінчики або піщинки, вони — кванти відповідного поля, як фотони — кванти електромагнітного поля. Вони — елементарні збудники в рухливому субстраті, подібному до поля Фарадея і Максвелла, крихітні рухливі хвильки. Вони зникають і знову з'являються за дивовижними законами квантової механіки, де все, що існує, не є стабільним, а є нічим іншим, як стрибками від однієї взаємодії до іншої. І навіть якщо ми обстежимо маленький порожній клаптик всесвіту, де немає атомів, ми все ж відшукаємо там дрібнесенькі брижі від цих частинок.

Не існує справжньої порожнечі, абсолютно порожньої, навіть на поверхні найспокійнішого моря є легенькі,

---

<sup>1</sup> Європейська організація ядерних досліджень.

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

слабкі брижі і тремтіння. Так і поля, що формують світ, здатні до вкрай малих флуктуацій; і можна собі уявити, що частинки, які їх утворюють, мають коротке та ефемерне існування, постійно створюються та руйнуються у постійному русі.

Це світ, описаний квантовою механікою і теорією елементарних частинок. Ми опинилися далеко від механічного світу Ньютона і Лапласа, де дрібнісінькі холодні камінці рухаються вічно, по безкінечних усталених траєкторіях у геометрично правильному космосі. Квантова механіка та експерименти з частинками навчили нас, що світ — це постійне невтомне роїння, постійне виникнення і зникнення ефемерних сутностей, сукупність вібрацій, як у психоделічному світі хіппі 60-х років.

Деталі теорії частинок вибудовувались поступово в 1950-х, 1960-х та в 1970-х роках великими фізиками Річардом Фейнманом і Маррі Гелл-Маном. Ця робота привела до дуже складної теорії, яка ґрунтується на квантовій механіці; теорії, що отримала не дуже романтичну назву «стандартна модель елементарних частинок». «Стандартна модель» була завершена в 1970-х роках після тривалої серії експериментів, що підтвердили всі припущення.

## УРОК 4. ЧАСТИНКИ

Заключне підтвердження відбулося у 2013 році з відкриттям бозона Гігса.

Але попри серію успішних експериментів стандартна модель ніколи не сприймалась фізиками серйозно. Це теорія, на перший погляд часткова і зібрана з розрізнених частин. Вона складається з різних частин та рівнянь, зібраних без чіткого упорядкування. Певна кількість полів (але чому саме ці поля?) взаємодіють між собою з певними силами (але чому саме ці сили?), кожна визначається певними константами (але чому саме ці конкретні значення?), продемонстровані певні симетрії (але знову ж таки — чому саме ці?). Ми віддалилися від простоти рівнянь загальної відносності і квантової механіки.

Способи, за допомогою яких рівняння стандартної моделі роблять припущення про світ, теж чомусь абсурдно ускладнені. Якщо застосовувати ці рівняння безпосередньо, отримаємо нісенітницю в передбаченнях — кожна обчислювана величина перетворюється на нескінченність. Щоб отримати осмислені результати, щоб збалансувати абсурдні результати і зробити їх прийнятними, надати їм здорового глузду, треба уявити параметри, що входять до них, теж нескінченно великими.

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

Ця ускладнена і «барокова» процедура отримала термінологічну назву «реномалізація». На практиці це працює, але полишає гіркий присмак у роті кожного, хто жадає простоти законів природи.

В останні роки свого життя другий після Ейнштейна великий фізик ХХ століття, Поль Дірак, архітектор квантової механіки й автор першого і основного рівняння стандартної моделі, неодноразово висловлював незадоволення з цього приводу, підсумовуючи, що «ми так і не розв'язали задачу».

На додачу до всього — нещодавно виявили разючі обмеження стандартної моделі. Навколо кожної галактики астрономи спостерігають велику хмару речовини, існування якої можна виявити через гравітаційне тяжіння, яким ця хмара діє на зірки, а також відхиляє світло. Але ці великі хмари, в яких ми спостерігаємо гравітаційний ефект, не видно безпосередньо, і ми не знаємо, з чого вони складаються.

Було запропоновано численні гіпотези, але, здається, жодна з них не працює. Ясно, що там є щось. Зараз це називають «темна матерія». Це щось, чого *не* описує стандартна модель, інакше ми б це бачили.

## УРОК 4. ЧАСТИНКИ

Щось інше, не атоми, не нейтрино, не фотони...

Дивно, любий читачу, але в небі та на Землі є ще речі, які й не снилися нашій філософії — або нашій фізиці.

До недавнього часу ми навіть не підозрювали про існування радіохвиль і нейтрино, які наповнюють Всесвіт. Стандартна модель сьогодні залишається найкращим з того, що ми маємо. Якщо судити про світ речей — її прогнози були підтвержені, за винятком «темної матерії» і гравітації, як вона презентована в теорії відносності, як викривлення простору-часу; вона добре описує всі аспекти сприйманого світу.

Альтернативні теорії були запропоновані, тільки щоб їх зруйнували експерименти. Хорошу теорію було запропоновано у 1970-х роках, їй було надано технічну назву SU5. Пропонувалося замінити неупорядковані рівняння стандартної моделі набагато простішою та елегантнішою структурою. Припускалося, що протон може розпадатися з певною ймовірністю на електрони і кварки. Для спостереження за розпадом протонів було побудовано складні великі машини. Фізики присвячували життя пошуку способів спостерігати розпад про-



## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

тона. (Ви не можете дивитись увесь час на один протон, бо процес розпаду займає багато часу. Ви берете тонни води, оточуєте її чутливими детекторами й очікуєте на ефекти розпаду.) Але, на жаль, ніхто так і не побачив розпад протона. Красива теорія  $SU_5$ , попри свою елегантність, не припала до смаку Господу Богу.

Історія, ймовірно, повторюється — тепер із групою теорій, відомих як «суперсиметричні», що припускають існування нового класу частинок. Протягом усієї своєї кар'єри, слухаючи колег, я очікував, з повною впевненістю, цих частинок.

Минали дні, місяці, роки, десятиліття — а прогнозовані суперсиметричні частинки так досі й не з'явилися. Фізика — це не тільки історія успіхів.

Отже, поки що ми залишаємося зі стандартною моделлю. Вона, можливо, й не дуже елегантна, але на диво добре описує світ навколо нас. А хтозна? Може, при ближчому розгляді виявиться, що моделі зовсім не бракує елегантності. Можливо, ми ще не навчилися дивитись на неї з правильної точки зору, яка б виявила її приховану простоту. Але на сьогодні це все, що ми знаємо про матерію.

## УРОК 4. ЧАСТИНКИ

Всього лише жменька типів елементарних частинок, які вібрують і постійно коливаються між існуванням і небуттям, кубляться у просторі, навіть коли нам здається, що там нічого немає, об'єднуються разом до нескінченності, як букви космічного алфавіту, щоб розказати величні історії галактик, про незліченні зірки, про сонячне світло, про гори, про ліс і пшеничні поля, про усміхнені молоді лица на вечірках і про нічне небо, засіяне зорями.



5

ЗЕРНИНИ КОСМОСУ

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

Незважаючи на деякі неясності, недоробки та питання, на які досі немає відповіді, фізика, побіжний огляд якої я виклав, дає кращий опис світу, ніж будь-яка з наук. І це мало б нас цілком влаштовувати. Але ні, нам замало.

Існує парадокс у самому серці нашого розуміння фізичного світу. ХХ століття дало нам дві коштовності, про які я вже згадував: загальну теорію відносності і квантову механіку. З першої вирости космологія, астрофізика, вивчення гравітаційних хвиль, чорних дір, багато іншого. Друга — забезпечила виникнення атомної фізики, ядерної фізики, фізики елементарних частинок, фізики конденсованої матерії й багато, багато чого ще. Дві казково щедрі на подарунки теорії, на яких ґрунтуються сучасні технології і які кардинально змінили спосіб нашого життя. Але ці теорії не можуть бути правильними одночасно, принаймні в їх нинішньому прочитанні, оскільки суперечать одна одній.

Відвідує, скажімо, студент університету лекції з загальної відносності вранці, а інші — з квантової механіки — по обіді; то бідоласі можна вибачити божевільну думку, що його професори або дурні, або не спілкувались десь близько століття. Адже вранці світ існує у вигляді ви-

## УРОК 5. ЗЕРНИНИ КОСМОСУ

кривленого простору-часу, а вдень — перетворюється на плаский простір, де стрибають кванти енергії.

Парадокс у тому, що обидві теорії працюють чудово. Природа поводить з нами, як літній рабин, що до нього прийшли двоє чоловіків, аби він розсудив їхню суперечку. Вислухавши аргументи першого, рабин каже: «Ви абсолютно праві!» Другий теж хоче бути почутим. Рабин уважно його слухає і каже: «Ви теж праві». Тим часом його дружина, почувши розмову з сусідньої кімнати, вигукує: «Але ж вони не можуть бути обоє праві!» Рабин замислюється і киває, перш ніж закінчити: «І ти теж права!»

Група фізиків-теоретиків, розкиданих по п'яти континентах, копітко працює, намагаючись вирішити проблему. Поле своєї діяльності вони називають квантовою гравітацією; предметом дослідження є пошук такої теорії, себто набору рівнянь, що насамперед створювала б цілісне уявлення про світ, за допомогою якого можна було б дати адекватне визначення поточній шизофренії.

Не вперше фізика стикається з існуванням двох успішних, але при цьому несумісних взаємовиключних теорій.

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

Усі спроби синтезу винагороджені семимильними кроками вперед на шляху до нашого розуміння світу. Ньютон відкрив всесвітнє тяжіння, об'єднавши параболи Галілея з еліпсами Кеплера. Максвелл винайшов рівняння електромагнетизму — об'єднанням теорії електрики і магнетизму. Ейнштейн відкрив теорію відносності розв'язанням явного конфлікту між електромагнетизмом і механікою.

Фізик, зазвичай, тільки страшенно радий, коли знаходить конфлікт такого роду між успішними теоріями: це унікальна можливість. Хіба не можемо ми збудувати концептуальну основу для роздумів про світ, що буде сумісною з усім тим, про що ми дізналися з обох теорій?

Тут, в авангарді, за межами знання, наука стає навіть іще прекраснішою — розжарені в ковальському горні, юні, новонароджені ідеї, інтуїція, спроби. Дороги, обрані й відразу відкинуті. А який ентузіазм у спробах уявити те, чого ще ніколи ніхто не уявляв!

Двадцять років тому все огортав густий туман. Зараз видно шлях, і це вселяє ентузіазм та оптимізм. Такий шлях не один, тому не можна сказати, що задачу розв'я-

## УРОК 5. ЗЕРНИНИ КОСМОСУ

зано. Множинність думок породжує суперечки. Але дискусія — здоровий процес: доки туман повністю не розсіювся, добре мати критичні та суперечливі думки.

Одна з найзначніших спроб вирішити проблему — напрямок досліджень під назвою «петльова квантова гравітація»; сформовано команду дослідників, що працюють у різних країнах.

Петльова квантова гравітація є спробою поєднати загальну теорію відносності та квантову механіку. Це обережна спроба, бо вона використовує тільки гіпотези, що містяться в цих теоріях, відповідно переписані, щоб зробити їх сумісними. Але наслідки радикальні: подальша модифікація наших поглядів на структуру реальності.

Ідея проста. Загальна теорія відносності вчить нас, що простір є не інертною коробкою, а чимось більш динамічним: щось на кшталт величезної рухливої мушлі равлика, у якій ми всі перебуваємо, — така от мушля, що може стискатись і скручуватись. Квантова механіка ж навчила нас, що кожне поле такого роду зроблене з квантів і має тонку зернисту структуру. Отже, фізичний простір теж зроблений з квантів.



## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

Основним результатом петльової квантової гравітації, дійсно, є те, що простір не безмежний, не безперервний чи нескінченно подільний, але складається з так званих зерен, або атомів космосу. Вони безкінечно малі — у мільярд мільярдів разів менші за найменше атомне ядро. Теорія описує ці атоми космосу математично, надає рівняння, що визначають їхню еволюцію. Вони називаються «петлі» або «кільця», оскільки пов'язані один з одним, формують систему взаємодії, влітаються у структуру простору, подібно до кілець майстерно сплетеної нескінченної кольчуги.

І де ж ці кванти простору? Ніде. Вони не в просторі, тому що вони самі, власне, і є простір. Простір створюється шляхом зв'язування цих окремих квантів гравітації. І знову, здається, сутність світу полягає не в об'єктах, а у взаємодії.

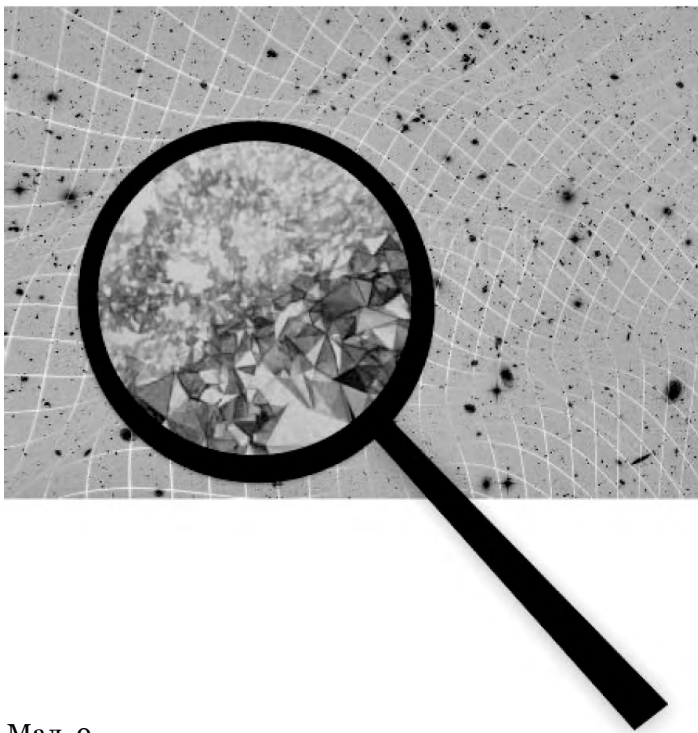
Це другий наслідок теорії, зате — найекстремальніший. Просто ідея безперервного космосу, що містить у собі предмети, — зникає; так само ідея простого [самозрозумілого] та відначального «часу», що плине, не зважаючи на предмети, — теж зникає. Рівняння, що описують зерна космосу і матерію, більше не містять змінної «час». Але це не означає, що все нерухомо та незмінно.

## УРОК 5. ЗЕРНИНИ КОСМОСУ

Навпаки, це означає, що ці зміни — всюдисущі, але елементарні процеси не можна упорядкувати в загальній послідовності миттєвостей. В екстремально дрібному масштабі зерен космосу танець природи не відбувається за ритмом палички єдиного диригента, в єдиному темпі: кожен процес танцює самостійно зі своїми сусідами, у своєму власному ритмі. Плин часу — внутрішній процес для світу, народжений разом зі світом, він — у взаємодії квантових подій, що, власне, становлять світ і самі є джерелом часу.

Світ, описаний теорією, все більше віддаляється від добре нам знайомого. Немає тепер простору, який містить у собі світ; і немає вже часу, коли відбуваються події. Є лише елементарні процеси, при цьому кванти простору і матерії взаємодіють між собою. Ілюзія простору і часу, що триває навколо нас, — лише розмите бачення всього цього роїння елементарних процесів; це так само, як абсолютно спокійне і чисте Альпійське озеро — насправді стрімкий танок міриад дрібнесеньких молекул води.

Розглядаючи екстремально крупним планом за допомогою надпотужного збільшувального скла передостаннє зображення нашого третього уроку, ми маємо змогу показати зернисту структуру простору:



Мал. 9

Чи можна перевірити цю теорію експериментально? Ми думаємо і намагаємося, але експериментального підтвердження досі немає. Між іншим, була ціла низка різноманітних спроб. Одна з них впливає з вивчення

## УРОК 5. ЗЕРНИНИ КОСМОСУ

чорних дір. На небі ми спостерігаємо чорні діри, які утворились на місці зірок, що колапсували. Розчавлена власною вагою, матерія цих зірок впала сама на себе і зникла з нашого поля зору. Але куди вона поділася? Якщо теорія петльової квантової гравітації правильна, то матерія не може розпастися на нескінченно малі точки, оскільки нескінченно малих точок не існує — є тільки кінцеві частинки простору. Колапсуючи під власною вагою, матерія має стати більш щільною, до такої міри, що квантова механіка має чинити протилежний врівноважувальний тиск.

Це гіпотетична заключна стадія життя зірки, де квантові флуктуації простору-часу збалансовують масу матерії, і це те, що відомо як Планкова зірка. Якщо Сонце перестане горіти і сформує чорну діру, вона буде за розміром приблизно півтора кілометра в діаметрі. Усередині такої чорної діри сонячна матерія буде стискатись, формуючи Планкову зірку. Її розмір буде порядку розміру атома. Уся матерія Сонця сконденсується в просторі, що займає атом: Планкова зірка є таким-от екстремальним станом матерії.

Зірка Планка не є стабільною: після максимального стиснення вона починає зворотний процес і розширюється

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

знову. Це призводить до вибуху чорної діри. Якби гіпотетичний спостерігач бачив усе це, сидячи на чорній дірці, він би відчув, що вона відскочила з шаленою швидкістю. Але час не плинув би для нього так само, як для інших, за межами чорної діри; з тієї самої причини, з якої час плине швидше в горах, ніж на рівні моря. Але для спостерігача, через екстремальні умови, різниця в плинні часу буде разючою. І те, що для спостерігача на зірці буде сприйматись як стрімкий стрибок, для тих, хто ззовні, буде відбуватись тривалий час. Саме тому ми спостерігаємо чорні діри, що лишаються незмінними протягом тривалого часу: чорна діра — це зірка, що переходить від стиснення до розширення, але бачиться в дуже повільному русі.

Можливо, що в горнилі першої миті творення Всесвіту утворились чорні діри і деякі з них зараз вибухають. Якщо це правда, можливо, ми могли б спостерігати сигнали, які вони випускають під час вибуху у формі високоенергетичних космічних променів, що йдуть від неба, таким чином даючи нам можливість спостерігати і вимірювати прямий ефект феномена, що ним керує квантова гравітація. Це смілива ідея — вона може не працювати, наприклад, якщо в зародковому всесвіті сформувалось недостатньо чорних дір, щоб дозволи-

## УРОК 5. ЗЕРНИНИ КОСМОСУ

ти нам відстежувати їхні вибухи сьогодні. Але пошук сигналів уже почався. Подивимось.

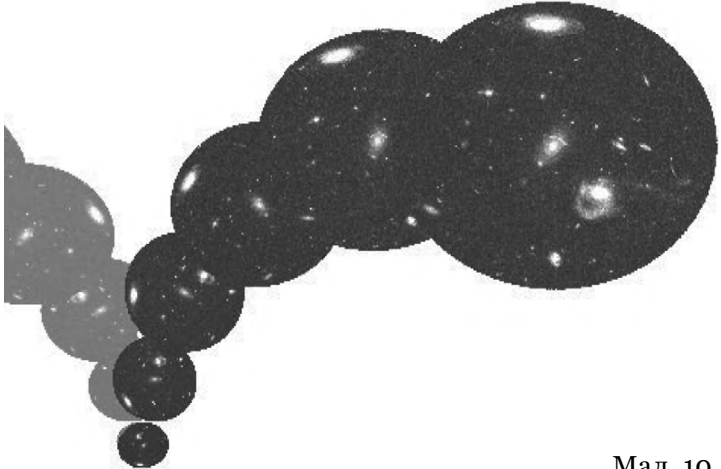
Ще один із наслідків теорії, і один із найбільш видовищних, стосується виникнення Всесвіту. Ми знаємо, як відмотати історію назад, у початковий період, коли наш світ був крихітний. Як щодо того, що було ще раніше? Добре, рівняння петльової теорії дозволяють нам повернутися ще далі назад у реконструкції цієї історії.

Ми бачимо, що коли Всесвіт іще надзвичайно стиснутий, квантова теорія створює протидійну силу, як результат — великий вибух, або так: Великий Вибух; може насправді було Великий Стрибок... Наш світ, можливо, насправді був народжений від попереднього всесвіту, який стягнувся під власною вагою до того, що міг бути втиснутий у крихітний простір, — потім він стрибає і знову розширюється, ставши за розміром таким Всесвітом, який ми спостерігаємо навколо.

Момент цього стрибка, коли Всесвіт скоротився до розміру горіхової шкаралупки, — справжнє царство квантової гравітації: і час, і простір зникли, світ розчинився в рухливій хмарі ймовірності, яку, до речі, досі можна

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

описати рівняннями. І остання картинка третього уроку трансформувалась би ось так.



Мал. 10

*Наш Всесвіт міг виникнути внаслідок стрибка на своїй початковій фазі і пройти крізь проміжну фазу, в якій не було ні простору, ні часу.*

Фізика відчиняє вікна, крізь які ми можемо бачити на далекі відстані.. Те, що ми бачимо, не перестає дивувати нас. Ми розуміємо, що в нас повно забобонів і що наша інтуїтивна картина світу є частковою, обме-

## УРОК 5. ЗЕРНИНИ КОСМОСУ

женою, неадекватною. Земля не є пласкою і нерухо-  
мою. Світ змінюється на наших очах, і ми поступово  
бачимо його докладніше і ясніше. Якщо ми спробуємо  
зібрати до купи все те, що у ХХ столітті людство дізна-  
лося про фізичний світ, усі підказки вкажуть на щось,  
що глибоко відрізняється від нашого інстинктивного  
розуміння матерії, простору і часу. Петльова квантова  
гравітація — спроба розшифрувати ці підказки і за-  
зирнути трохи далі.





6

ЙМОВІРНІСТЬ,  
ЧАС І ТЕПЛО ЧОРНИХ ДІР

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

Поряд з великими теоріями, про які я вже говорив і які описують елементарні складові світу, існує ще один великий фізичний бастион, який дещо відрізняється від інших. Його несподівано викликало одне запитання: «Що таке тепло?»

До середини ХІХ століття фізики намагалися зрозуміти, що таке тепло, вважаючи, що це вид рідини, яку називали калоріком, або що це дві рідини, одна гаряча, друга холодна. Ця ідея виявилася неправильною. Зрештою Джеймс Максвелл і австрійський фізик Людвіг Больцман знайшли відповідь. І вона виявилася красивою, дивною і глибокою — і веде нас в області, досі значною мірою не досліджені.

Максвелл і Больцман зрозуміли, що гаряча речовина не містить ніякої рідини «калорік». Гаряча речовина — це речовина, у якій атоми рухаються швидше. Атоми і молекули, невеликі групи атомів, пов'язаних між собою, завжди перебувають в русі. Вони бігають, вібрують, стрибають і так далі. Холодне повітря — це повітря, в якому атоми, точніше молекули, рухаються повільніше. Гаряче повітря — це повітря, у якому молекули рухаються швидше. Вишукано просто. Але це ще не все.

## УРОК 6. ЙМОВІРНІСТЬ, ЧАС І ТЕПЛО ЧОРНИХ ДІР

Тепло, як відомо, завжди переходить від гарячих речей до холодних. Якщо помістити холодну чайну ложку в чашку гарячого чаю, ложка також стане гарячою. Якщо холодного дня ми не одягнемся, то швидко втрачимо тепло тіла і змерзнемо. Чому тепло переходить від гарячих речей до холодних, а не навпаки?

Це важливе питання, тому що воно належить до природи часу. У кожному разі, коли теплообмін не відбувається або є незначним, ми бачимо, що майбутнє поводить-ся точно так само, як і минуле. Наприклад, для руху планет Сонячної системи тепло практично не має значення, і, фактично, вони могли б почати рухатися у зворотньому напрямку без порушення будь-яких законів фізики. Проте, щойно з'являється тепло, майбутнє починає відрізнятися від минулого. Доки немає тертя. Наприклад, маятник може гойдатися вічно. Якби ми все це зняли на плівку і запустили її у зворотньому напрямку, то побачили б рух, який є цілком можливим. Але якщо тертя присутнє, маятник злегка нагріває свою опору, втрачає енергію і сповільнюється. Тертя спричиняє виділення тепла. І негайно ж ми стаємо здатні відрізнити майбутнє (у напрямку якого маятник сповільнюється) від минулого. Ми ніколи не бачили, щоб нерухомий маятник почав гойдатися, щоб його рух був ініційований

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

енергією, отриманою поглинанням тепла з його опори. Різниця між минулим і майбутнім існує тільки тоді, коли присутнє тепло. Фундаментальне явище, що відрізняє майбутнє від минулого, — це факт того, що тепло переходить від тепліших речей до холодніших.

Так все ж таки, чому з плином часу тепло переходить тільки від гарячих речей до холодних, а не навпаки?

Причина була виявлена Больцманом, і вона на подив проста: *це чиста випадковість.*

Ідея Больцмана є дуже тонкою і вводить у гру ідею ймовірності. Тепло переходить від гарячого тіла до холодного не в силу абсолютного закону, а тільки тому, що ймовірність цього більша.

Немає жодного абсолютного закону, що забороняє передачу тепла від гарячого до холодного тіла. Просто ймовірність такого процесу менша за ймовірність зворотного. Причина: статистично більш імовірно, що атом гарячої речовини, який рухається швидко, зіштовхується з атомом холодної і залишає йому трохи своєї енергії, а не навпаки. Енергія зберігається у зіткненнях, але, як правило, розподіляється на більш-менш рівні

## УРОК 6. ЙМОВІРНІСТЬ, ЧАС І ТЕПЛО ЧОРНИХ ДІР

частини, коли зіткнень багато. Таким чином, температура предметів у контакті один з одним схиляється до вирівнювання. Не виключено й те, що гаряче тіло може стати ще гарячішим через контакт із холодним: це лише вкрай мало ймовірно.

Таке внесення поняття *ймовірності* до серця фізики і використання його для пояснення основ термодинаміки спочатку вважалося абсурдним. Як часто буває, ніхто не сприймав Больцмана серйозно. П'ятого вересня 1906 року, в Дуїно, поблизу Трієста, він повісився, так і не ставши свідком подальшого загального визнання справедливості своєї ідеї.

На другому уроці я розповів про те, як квантова механіка припускає, що рух кожної речі у кожному хвилину відбувається випадково. Це також вводить у гру ймовірність. Але та ймовірність, яку мав на увазі Больцман, ймовірність, що лежить в основі тепла, має іншу природу і не залежить від квантової механіки. Ймовірність, що грає роль у вченні про тепло, у певному сенсі пов'язана з нашим *незнанням*.

Я не можу знати чогось напевне, але все ж таки можу припускати щось із більшою або меншою мірою

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

ймовірності. Наприклад, я не знаю, чи піде завтра дощ тут або у Марселі, а може, буде сонячно чи піде сніг; але ймовірність того, що сніг піде тут, завтра — у Марселі, у серпні — є низькою. Точно так само стосовно багатьох фізичних об'єктів: ми знаємо дещо, але не все про їхній стан і можемо лише прогнозувати, ґрунтуючись на ймовірності. Уявіть собі надуту повітряну кулю. Я можу її виміряти: виміряти її форму, об'єм, тиск, температуру... Але молекули повітря всередині кулі стрімко рухаються, і я не знаю розташування кожної з них. Це заважає мені точно передбачити, як поводитиметься повітряна куля. Наприклад, якщо я розв'язу вузол, що утримує повітря всередині, і відпущу кулю, вона буде шумно здуватися, літаючи туди-сюди по маршруту, який я не зможу передбачити. Не зможу, тому що я знаю тільки, яка в неї форма, об'єм, тиск і температура. Які петлі буде виписувати повітряна куля, залежить від конкретного розташування молекул усередині неї, якого я не знаю. Але навіть якщо я не можу передбачити все і точно, я можу передбачити ймовірність того, що станеться з тим чи іншим об'єктом. Наприклад, дуже мало ймовірно, що повітряна куля вилетить з вікна, облетить навколо маяка там, вдалині, а потім повернеться, приземлившись мені на долоню, в ту саму точку, звідки була випущена.

## УРОК 6. ЙМОВІРНІСТЬ, ЧАС І ТЕПЛО ЧОРНИХ ДІР

на. Певна форма поведінки є більш ймовірною, інша — малоймовірною.

У цьому ж сенсі ймовірність того, що, коли молекули стикаються, тепло переходить від гарячіших тіл до холодніших, може бути розрахована і виявляється набагато більшою, ніж ймовірність того, що тепло рухатиметься у бік гарячого тіла.

Галузь науки, яка роз'яснює ці речі, називається статистичною фізикою, і одним з її тріумфів, починаючи з Больцмана, було зрозуміння ймовірнісного характеру тепла і температури, тобто термодинаміки.

На перший погляд, думка, що наше незнання дає можливість передбачати щось у поведінці світу, здається ірраціональною: холодна чайна ложка нагрівається в гарячому чаї, а повітряна кулька летить, якщо її випустити, незалежно від того, що я знаю і чого не знаю. Як наше знання чи незнання стосується законів, які керують світом? Правомірне запитання; відповіді на нього не так просто.

Чайна ложка і кулька поводяться так, як вони мусять, за законами фізики, абсолютно не зважаючи на те,



## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

що ми знаємо, а чого не знаємо про них. Передбачуваність або непередбачуваність поведінки не стосується їх точного стану; вона належить до обмеженого набору їхніх властивостей, з якими ми взаємодіємо. Цей набір властивостей залежить від *нашого* конкретного способу взаємодії з чайною ложкою або кулькою. Ймовірність, власне, не належить до еволюції матерії. Вона належить до еволюції тих конкретних величин, з якими ми взаємодіємо. Тут знову вимальовується глибоко відносна сутність понять, які ми використовуємо для упорядкування світу.

Холодна чайна ложка нагрівається в гарячому чаї, тому що чай і ложка взаємодіють з нами через обмежену кількість змінних з незліченної кількості змінних, які характеризують їхній мікростан. Значень цих змінних недостатньо, щоб точно передбачити майбутню поведінку (приклад із кулькою), але досить для прогнозування з оптимальною ймовірністю того, що ложка нагріється.

Сподіваюся, що не втратив уваги читача, заглибившись у ці тонкі відмінності...

Протягом ХХ століття термодинаміка (тобто наука про тепло) і статистична механіка (тобто наука про ймовір-

## УРОК 6. ЙМОВІРНІСТЬ, ЧАС І ТЕПЛО ЧОРНИХ ДІР

ність різних рухів) поширилися на електромагнітні та квантові явища. Однак поширити їх також на гравітаційне поле виявилось проблематичним. Як гравітаційне поле поводить себе при нагріванні — і досі невирішене питання.

Ми знаємо, що трапляється при нагріванні електромагнітного поля: у духовці, наприклад, гаряче електромагнітне випромінювання дає змогу випекти пиріг, і ми знаємо, як це описати. Електромагнітні хвилі вібрують, випадково розподіляючи енергію, і ми можемо уявити все це як газ фотонів, що переміщуються, як молекули в кулі, наповненій гарячим повітрям. Але що таке гаряче *гравітаційне* поле?

Гравітаційне поле, як ми дізналися на першому уроці, це, власне, сам простір, або, точніше, простір-час. Таким чином, коли тепло поширюється в гравітаційному полі, час і простір, як вони є, повинні вібрувати... Але ми все одно не знаємо, як це краще описати. У нас немає рівняння для опису теплових коливань гарячого простору-часу. Що таке вібруючий час?

Такі запитання приводять нас до суті проблеми часу: що таке, власне, «плин» часу?

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

Це питання вже було присутнє в класичній фізиці й освітлювалося в ХІХ—ХХ століттях філософами — але постає значно гостріше в сучасній фізиці. Фізика описує світ за допомогою формул, які називають процес зміни функцією часу. Але ми можемо написати формули, які описують, як речі змінюються залежно від «позиції» або як смак ризотто змінюється як «функція змінної кількості вершкового масла». Здається, що час «плине», але кількість вершкового масла і розташування в просторі не «плинуть». Звідки взялася ця різниця?

Інший спосіб — це запитати себе: що таке «теперішнє»? Ми говоримо, що речі існують тільки в теперішньому: минуле вже не існує, а майбутнє ще не існує. Але у фізиці немає нічого, що відповідало б поняттю «зараз». Порівняємо «зараз» і «тут». «Тут» означає місце, де перебуває той, хто говорить; двоє різних людей «тут» вказують на два різні місця. Отже, «тут» — це слово, значення якого залежить від того, де воно сказано. Є технічний термін для висловлювань цього виду — індексальний. Індексальним є таке висловлювання, сенс якого залежить від ситуації, в якій воно висловлюється. «Зараз» також вказує на мить, у яку слово вимовляється, і також класифікується як індексальне. Але нікому не спаде на думку сказати, що те, що перебуває «тут», існує, а те,

## УРОК 6. ЙМОВІРНІСТЬ, ЧАС І ТЕПЛО ЧОРНИХ ДІР

що не «тут», — не існує. Тоді чому ми говоримо, що речі, які є «тепер», — існують, а все інше — ні? Чи є певний час чимось об'єктивним у світі, що «плине», і чи примушує він речі «існувати» одну за одною — чи це тільки щось суб'єктивне, як і поняття «тут»?

Це може здаватися хитромудрою грою розуму. Але для сучасної фізики це гостре питання, оскільки спеціальна теорія відносності показала, що поняття «теперішнє» теж суб'єктивне. Фізики і філософи дійшли висновку, що ідея теперішнього часу, який є загальним для всього Всесвіту, — це ілюзія, що всесвітний «плин» часу — узагальнення, яке не працює. Ейнштейн, коли помер його близький друг, італієць Мікеле Бессо, написав зворушливого листа його сестрі: «Мікеле покинув цей дивний світ трохи раніше за мене. Це нічого не значить. Люди на кшталт нас, ті, хто вірить у фізику, знають, що відмінність між минулим, теперешнім і майбутнім — не більш ніж набридлива, вперта ілюзія».

Ілюзія це чи ні, як пояснити той факт, що для нас час «біжить», «тече», «спливає»? Плин часу є очевидним для всіх нас: наші думки і наші слова існують у часі; сама структура нашої мови потребує часу — річ «є», «була» або «буде». Ми можемо уявити собі світ без кольорів,

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

без матерії, навіть без простору, але важко уявити його без часу. Німецький філософ Мартін Гайдеггер підкреслював, що ми «живемо в часі». Чи можливо, щоб плин часу, який Гайдеггер трактує як первинний, був відсутнім в описі світу?

Деякі філософи, і серед них найбільш віддані послідовники Гайдеггера, дійшли висновку, що фізика неспроможна описати найфундаментальніші аспекти реальності, і відкинули її як хибну форму знання. Але вже багато разів ми усвідомлювали, що саме наша безпосередня інтуїція є неточною: якби ми трималися її, то й досі вірили б, що Земля пласка і що це навколо неї обертається сонце. Наша інтуїція розвинулася на основі нашого обмеженого досвіду. Якщо зазирнути трохи далі, виявляється, що світ не такий, яким постає перед нами: Земля кругла, а в Кейптауні люди ходять догори ногами. Довіряти своїй безпосередній інтуїції, а не колективним дослідженням, раціональним, ретельним і розумним, — не дуже мудро; це схоже на поведінку старого, який відмовляється повірити, що великий світ за межами його селища чимось відрізняється від того, що він знав завжди.

Наш досвід плину часу, хоч яким би яскравим він нам здавався, не зобов'язаний відображати фундаментальні

## УРОК 6. ЙМОВІРНІСТЬ, ЧАС І ТЕПЛО ЧОРНИХ ДІР

аспекти реальності. Але якщо наш яскравий досвід плину часу не є фундаментальним, звідки він береться?

Я думаю, що відповідь прихована в тісному зв'язку між часом і теплом. Різниця між минулим і майбутнім, яку можна відчутти, існує тільки тоді, коли існує потік тепла. Тепло пов'язане з ймовірністю; а ймовірність, своєю чергою, пов'язана з тим, що наші взаємодії з рештою світу не рееструють дрібні деталі реальності. Плин часу виникає, таким чином, з фізики, але не в контексті точного опису речей як вони є. Він з'являється, скоріше, у контексті статистики і термодинаміки. Це може дати ключ до загадки часу. «Теперішнє» існує в об'єктивній дійсності не більше, ніж об'єктивне «тут», але мікроскопічні взаємодії в світі прискорюють появу часових явищ у системі (наприклад, у нас), яка взаємодіє тільки за посередництва безлічі змінних. Наша пам'ять і наша свідомість побудовані на цих статистичних явищах. Для гіпотетично надчуттєвої істоти не було б «плину» часу: Всесвіт був би єдиним блоком минулого, теперішнього і майбутнього. Але через обмеженість нашої свідомості ми сприймаємо лише розмите бачення світу і живемо в часі. Кажучи словами мого італійського видавця, «те, що не є очевидним, набагато ширше, ніж те, що явне». Завдяки цьому обмеженому, розмитому фокусу ми

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

отримуємо наше сприйняття плину часу. Це ясно? Ні, не ясно. Ще так багато ми маємо зрозуміти.

Час — у центрі клубка питань, що постали на перетині гравітації, квантової механіки і термодинаміки. Ми й досі не розплутали цей клубок, ми досі блукаємо в темряві. Можливо, ми починаємо щось розуміти щодо квантової гравітації, яка об'єднує в собі два з трьох шматочків мозаїки, але поки не маємо теорії, здатної зібрати разом усі три частини нашого фундаментального знання про світ.

Невелика підказка до вирішення цього питання походить від обчислень, зроблених Стівеном Гокінгом, фізиком, який відомий тим, що не перестає робити приголомшливі фізичні відкриття, незважаючи на захворювання, яке тримає його прикутим до інвалідного візка і не дозволяє йому говорити без допомоги механічного пристрою.

За допомогою квантової механіки Гокінг успішно продемонстрував, що чорні діри завжди «гарячі». Вони випромінюють тепло, як пічка. Це перша конкретна вказівка на природу «гарячого простору». Ніхто ніколи не спостерігав таке тепло, тому що воно слабке в реаль-

## УРОК 6. ЙМОВІРНІСТЬ, ЧАС І ТЕПЛО ЧОРНИХ ДІР

них чорних дірах, які вчені спостерігали дотепер, — але обчислення Гокінґа переконливі, вони неодноразово повторені в різні способи, і реальність тепла чорних дір є загальноприйнятою.

Тепло з чорних дір — це квантовий вплив на об'єкт, чорну діру, який є гравітаційним за природою. Це окремі кванти простору, елементарні зерна простору, вібруючі «молекули», які нагрівають поверхню чорних дір і генерують їхнє тепло. Це явище включає в себе всі три сторони питання: квантову механіку, загальну теорію відносності і науку про тепло. Тепло чорних дір — це як Розеттський камінь фізики, надписи на якому поєднують три мови — квантову, гравітаційну і термодинамічну. І він, як і раніше, очікує на розшифрування, для того щоб розкрити нам справжню природу часу.



# НА ЗАВЕРШЕННЯ: ХТО МИ Є?<sup>1</sup>

Після того як ми пройшли такий довгий шлях, від структури глибокого космосу до меж відомого Всесвіту, і перш ніж завершити цю серію уроків, я хотів би повернутися до теми нас самих.

Яку роль граємо ми, людські істоти, що відчують, ухвалюють рішення, сміються і плачуть, у цій великій картині світу, описуваній сучасною фізикою? Якщо світ є роєм ефемерних квантів простору і матерії, великою космічною головоломкою простору й елементарних частинок, що тоді? Ми також складаємося тільки з квантів і частинок? Якщо це так, то звідки береться відчуття індивідуального існування й унікальної осо-

---

<sup>1</sup> Останній, сьомий урок.

## НА ЗАВЕРШЕННЯ: ХТО МИ Є?

бистості, яке ми всі можемо підтвердити? І чого тоді варті наші цінності, наші мрії, наші емоції, наші індивідуальні знання? Чим є ми в цьому безмежному і яскравому світі?

Я навіть не можу собі уявити спробу відповісти на таке запитання на цих сторінках. Це надто складно. У сучасній науці багато такого, чого ми не розуміємо, і одна з речей, які ми розуміємо найменше, — це ми самі. Але думаю, що уникати цього питання або ігнорувати його — значило б випустити з уваги щось важливе. Я вирішив показати, яким є світ у світлі науки, а ми теж є частиною цього світу.

«Ми», люди, першою чергою є саме тими суб'єктами, що спостерігають цей світ; колективними творцями фотографії реальності, яку я намагаюся описати. Ми — вузли в мережі обміну (приклад чого являє собою ця книжка), якою ми передаємо образи, інструменти, інформацію та знання.

Але ми також є невід'ємною частиною світу, який сприймаємо; ми не зовнішні спостерігачі, ми перебуваємо в ньому. Наш погляд на світ іде зсередини нього. Ми складаємося з тих самих атомів і світлових сигналів,

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

що розподілені між ялинками на горі й між зірками в галактиках. В міру того, як наші знання зростали, ми дізналися, що наше буття — лише частина Всесвіту, до того ж невелика частина.

Це ставало дедалі очевиднішим протягом століть, але особливо — впродовж минулого століття. Ми вірили, що перебуваємо на планеті у центрі Всесвіту, але це не так. Ми думали, що є унікальними істотами, расою, що існує окремо від тварин і рослин, а виявилось, що ми нащадки тих самих предків, що і все живе навколо нас. Ми маємо спільного пращура з метеликами і модринами. Ми схожі на єдину дитину в сім'ї, яка, підрастаючи, розуміє, що світ не обертається виключно навколо неї, як вона думала, коли була малою. Вона мусить навчитися бути однією з інших. Віддзеркалюючись іншими особами та предметами, ми дізнаємося, хто ми є.

У великий період німецького ідеалізму Шеллінг міг подумати, що людина являє собою вершину природи, найвищу точку, де реальність усвідомлює себе. Сьогодні, з точки зору, що її пропонує наше сучасне знання про природний світ, ця ідея викликає посмішку. Якщо ми і є особливими, то тільки тим, що кожен з нас відчуває своє особисте буття — як і кожна мати особ-

## НА ЗАВЕРШЕННЯ: ХТО МИ Є?

лива для своєї дитини. Але, звичайно, не для решти природи.

У безкрайому океані галактик і зірок ми в дальньому куті; у нескінченному візерунку форм, які являють собою реальність, ми просто ще один завиток серед безлічі таких самих завитків. Образи, з яких ми будемо Всесвіт, живуть у нас, у просторі наших думок. Між цими зображеннями — між тим, що ми можемо реконструювати і зрозуміти нашими обмеженими засобами і реальністю, частиною якої ми є, існує безліч фільтрів: наше незнання, обмеженість наших почуттів і розуму. Ті самі умови, які наша природа накладає на досвід.

Ці умови не є, однак, як уявляв Кант, універсальними — висновком з цього (з очевидної помилки) буде, отже, що природа Евклідового простору і навіть ньютонівської механіки повинна бути правильною апіорі. Вони — наслідок розумової еволюції нашого виду і самі безперервно еволюціонують. Ми не просто вчимося, ми навчаємося поступово змінювати наші концептуальні основи й адаптувати їх до того, про що дізнаємося. І те, що ми вчимося впізнавати, хоча й повільно і неохоче, — це природа реального світу, частиною якого ми є. Образи, які ми створюємо, дивлячись на Всесвіт,

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

можуть жити в нас, у просторі ідей, але вони також описують, більш або менш точно, реальний світ, до якого ми належимо. Ми слідуємо підказкам, щоб краще описати цей світ.

Коли ми говоримо про Великий Вибух або про тканину простору — це не продовження вільних фантастичних історій, які люди розповідали вечорами біля багать упродовж сотен тисяч років. Це продовження чогось іншого: погляду, який ті самі люди в першому світлі дня кидали на сліди, залишені антилопою в пилу савани, — аналізу і вирахування на основі деталей реальності, щоб переслідувати щось, чого ми не можемо побачити безпосередньо, але чиїми слідами можемо йти. Усвідомлюючи, що ми завжди можемо помилятися, і тому готові в будь-який момент змінити напрямок, якщо з'явиться новий слід; але знаючи також, що коли зробимо все правильно, ми здобудемо правду і знайдемо те, чого прагнемо. Такою є природа науки.

Змішування цих двох видів людської діяльності — придумування історій і вивчення слідів для того, щоб знайти щось, — це джерело непорозуміння і недовіри до науки, які значною мірою продемонстровані в нашій сучасній культурі. Поділ є дуже тонким: антилопа, на яку полю-

## НА ЗАВЕРШЕННЯ: ХТО МИ Є?

вали на світанку, не так уже сильно відрізняється від божества-антилопи з казок на ніч.

Межа є проникною. Міфи живлять науку, а наука живить міф. Але цінність знання залишається незмінною. Якщо ми знайдемо антилопу — зможемо поїсти.

Отже, наше знання відображає світ.

З більшим чи меншим успіхом, але воно відображає світ, у якому ми живемо. Цей зв'язок між нами і світом не робить нас якимось особливими порівняно з рештою природи. Усе в світі постійно взаємодіє, і при цьому кожна річ несе на собі відбитки того, з чим вона взаємодіє: і в цьому сенсі усі речі постійно обмінюються інформацією одна про одну.

Інформація, яку одна фізична система отримує про іншу, не несе в собі нічого ментального або суб'єктивного: це тільки зв'язок між станом однієї та іншої речі, який визначає фізика. Крапля дощу містить інформацію про наявність хмари в небі; промінь світла містить інформацію про колір речовини, з якої він вийшов; годинник несе інформацію про те, котра година; вітер несе інформацію про наближення грози; вірус нежиттю несе

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

інформацію про небезпеку для мого носа; ДНК у наших клітинах містить усю інформацію про генетичний код (що робить мене схожим на батька); а мій мозок переповнений інформацією, накопиченою моїм життєвим досвідом. Первинна субстанція наших думок — дуже багате зібрання інформації, яка накопичується, обмінюється і постійно обробляється.

Навіть термостат моєї системи опалення «відчуває» і «знає» температуру навколишнього повітря в моїй оселі, отримує інформацію з цього питання і вимикається, коли стає досить тепло. Так у чому тоді різниця між термостатом і моїм власним «відчуттям» і «знанням» того, що вже тепло, моїм вільним рішенням, вимкнути опалення чи ні, — і «знанням», що я існую? Як безперервний обмін інформацією у природі створює нас та наші думки?

Це питання залишається відкритим, має безліч рішень, щодо яких і досі тривають суперечки. Це, я вважаю, є одним з найцікавіших передових завдань науки, де очікується значний прогрес. Сьогодні нові пристрої дозволяють нам спостерігати за активністю мозку в дії і простежувати його заплутані мережі з приголомшливою точністю. Не далі як у 2014 році у новинах було

## НА ЗАВЕРШЕННЯ: ХТО МИ Є?

оголошено, що отримано перше повне (мезоскопічне) детальне відображення структури мозку ссавця. Специфічні ідеї щодо того, як математична форма структур може відповідати суб'єктивному досвіду свідомості, обговорюють не тільки філософи, а й нейробіологи.

Наприклад, одна така математична теорія розробляється Джуліо Тононі — італійським вченим, який працює в США. Вона називається теорією інтегрованої інформації і являє собою спробу кількісно охарактеризувати структуру, яку повинна мати система, щоб бути свідомою, спробу описати, наприклад, які насправді зміни відбуваються на фізичному плані, коли ми не спимо (свідомість) та коли спимо, але не бачимо снів (несвідомість). Ця теорія досі на стадії розвитку. Ми не маємо переконливих і доведених відповідей щодо того, як формується наша свідомість. Але мені здається, що в тумані прояснюється.

Є, зокрема, питання, яке часто залишає нас розгубленими: що таке наша спроможність робити вільний вибор, якщо наша поведінка — не більш як слідування законам природи? Чи немає суперечності між нашим почуттям свободи і суворим порядком, згідно з яким, як ми тепер розуміємо, діє все в світі? Можливо, є щось



## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

у нас, що не вписується в закономірність природи і дозволяє нам відхилитися від неї завдяки нашій здібності мислити вільно?

Але ж ні, немає в нас нічого, що могло б допомогти нам уникнути норм природи. Якби було в нас щось, здібне порушувати закони природи, ми б уже виявили це. В нас немає нічого такого, що дозволяло б порушувати природну поведінку речей. Усій сучасній науці — від фізики до хімії і від біології до неврології — не залишається нічого іншого, як підтвердити це спостереження.

Рішення цього заплутаного питання криється в іншому. Коли ми кажемо, що ми вільні, — і це правда, що таке можливо, — це означає, що наша поведінка визначена тим, що відбувається всередині нас, у нашому мозку, а не під впливом зовнішніх факторів. Бути вільними — не означає, що наша поведінка не визначається законами природи. Це означає, що вона визначається законами природи, що діють у нашому мозку. Наші вільні рішення вільно визначаються впливом багатьох швидкоплинних взаємодій між мільярдами нейронів у мозку: вони вільні тією мірою, що їй дозволяє і визначає взаємодія цих нейронів. Чи означає це, що коли я приймаю рішення, «я» — той, хто вирішує? Так, звичайно,

## НА ЗАВЕРШЕННЯ: ХТО МИ Є?

адже було б безглуздо питати, чи можу «я» зробити щось, що відрізняється від того, що вирішив весь комплекс моїх нейронів. Ці дві речі, як з приголомшливою ясністю зрозумів голландський філософ Барух Спіноза у XVII столітті, є єдиним цілим.

Немає понять «я» і «нейрони в моєму мозку». Це те саме. Особистість є процесом: складним, тісно інтегрованим.

Коли ми говоримо, що людська поведінка непередбачувана, це правда, тому що це річ занадто складна для прогнозу, особливо наша власна поведінка. Наше потужне відчуття внутрішньої свободи, як прозрівав Спіноза, походить з того, що ідеї та образи, які ми отримуємо ззовні, є набагато грубішими і більш умовними, ніж деталізовані, складні процеси, що відбуваються в нас. Ми є джерелом подиву у своїх власних очах.

У нашому мозку сто мільярдів нейронів, стільки ж, скільки зірок у галактиці, а кількість зв'язків і потенційних комбінацій, за допомогою яких вони можуть взаємодіяти, вже й зовсім астрономічна. Ми не усвідомлюємо всього цього. «Ми» — це процес, сформований всією цією хитромудрістю, а не тільки тією малою її часткою, яку ми усвідомлюємо.

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

«Я», що вирішує, це те саме «я», яке утворюється (ще, звичайно, не зовсім ясно, в який спосіб, але ми вже почали розуміти) з роздумів про себе; представленням себе у світі; від розуміння себе як змінної точки зору в контексті світу; з цієї приголомшливої структури, що обробляє інформацію і будує уявлення, — нашого мозку. Коли ми відчуваємо, що це саме «я» — той, хто вирішує, не може бути більшої правди. Хто ж іще?

Я — це, як наполягав Спіноза, моє тіло і те, що відбувається в моєму мозку і серці, з їх величезною і, для мене, абсолютною нерозривною складністю.

Таким чином, наукова картина світу, яку я викладаю на цих сторінках, не йде врозріз із нашим самовідчуттям. Вона не розходиться і з нашим мисленням у моральному і психологічному плані, і з нашими емоціями і почуттями. Світ складний, і ми звертаємося до нього різними мовами, що відповідають процесу, який ми описуємо. Кожен складний процес можна розглядати і розуміти різними мовами і на різних рівнях. Ці різні мови перетинаються, переплітаються і взаємно посилюються, як і самі процеси. Вивчення нашої психології стає складнішим через розуміння біохімії мозку. Вивчення теоретичної фізики живиться пристрастями та емоціями, які пожвавлюють наше життя.

## НА ЗАВЕРШЕННЯ: ХТО МИ Є?

Наші моральні цінності, емоції, наша любов не стають менш реальними, являючи собою частину природи, те, що ми поділяємо з тваринним світом, або те, що визначається еволюцією, якої наш вид зазнав за мільйони років. Скоріше, в результаті цього вони є більш цінними, оскільки вони реальні. Вони походять з тієї ж комплексної реальності, що і ми. Наша реальність — це сльози і сміх, подяка і альтруїзм, вірність і зрада, минуле, що переслідує нас, і спокій. Наша реальність складається з суспільств, емоцій, які надихаються музикою, безлічі переплетених мереж спільного знання, що ми його будуємо разом. Усе це є частиною саме тієї нашої власної «природи», яку ми описуємо. Ми є невід'ємною частиною природи; ми і є природою, в одному з її незліченних і нескінченно різноманітних виражень. Саме це ми дізналися з нашого постійно зростаючого пізнання цього світу.

Те, що надає нам конкретної людяності, не означає відрив від природи, це, власне, є частиною природи. Це форма, якої природа набула тут, на нашій планеті, у нескінченній грі своїх комбінацій, шляхом взаємного впливу й обміну кореляціями та інформацією між своїми частинами. Хто знає, скільки ще існує екстраординарних комплексів і які форми вони мають, може такі, що їх неможливо уявити собі, у нескінченних просторах

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

космосу... Там так багато простору, що це по-дитячому — думати, що десь на периферії звичайної галактики повинно бути щось однозначно особливе. Життя на Землі тільки малою мірою відображає те, що може статися у Всесвіті. Наші власні душі — лише один такий невеличкий приклад.

Ми — вид, від природи спонуканий цікавістю, єдиний, що залишився з групи (Номо), яка складалася з десятків таких самих цікавих видів. Інші види у групі вже вимерли; деякі, такі як неандертальці, не так вже й давно, приблизно тридцять тисяч років тому. Це група видів, які еволюціонували в Африці, споріднених із ієрархічними та схильними до сварок шимпанзе — а ще більш близьких до бонобо: невеликого, мирного, щиро демократичного і нерозбірливого у зв'язках виду шимпанзе. Група видів, які неодноразово залишали Африку, щоб досліджувати нові світи, і зайшли дуже далеко: зрештою, до самої Патагонії — а зрештою, аж до Місяця.

У цікавості немає нічого неприродного: навпаки, вона в нашій природі.

Сто тисяч років тому наш вид залишив Африку, спонуканий, можливо, саме тією цікавістю — далі пізнавати світ. Пролітаючи над Африкою вночі, я думав: можливо, один

## НА ЗАВЕРШЕННЯ: ХТО МИ Є?

з моїх далеких предків, що жив на широких відкритих просторах Півночі, вдивлявся в небо й уявляв, як його далекий нащадок летить там, у височині, розмірковуючи про природу речей, спонуканий тією самою цікавістю.

Я вважаю, що наш вид довго не протримається. Не схоже, щоб ми були створені з матеріалу, що дозволив, наприклад, черепаці існувати більш-менш незмінною протягом сотень мільйонів років; у сотні раз довше, ніж ми взагалі існуємо. Ми належимо до короткоіснуючого роду. Всі наші двоюрідні брати вже вимерли. Більше того, ми завдаємо шкоди світу і собі. Жорстокі зміни клімату і довкілля, які ми викликали, навряд чи підуть нам на користь. Для Землі це, можливо, буде невеликим потрясінням, але не думаю, що ми переживемо його без втрат — особливо зважаючи на те, що громадська і політична думка воліє ігнорувати небезпеку, яку ми створюємо, і ховати голову в пісок. Ми, мабуть, єдиний вид на Землі, який усвідомлює неминучість нашої індивідуальної смерті. Я боюся, що скоро ми також маємо стати єдиним видом, який свідомо спостерігатиме пришествя власної колективної загибелі або, принаймні, загибелі своєї цивілізації.

Оскільки ми більш-менш розуміємо, що робити з нашою індивідуальною смертністю, то впораємося і з руйнуванням

## СІМ КОРОТКИХ УРОКІВ З ФІЗИКИ

нашої цивілізації. Різниця не настільки й велика. І, звичайно, це трапляється не вперше. З цим уже стикнулися Майя і критуни, а також багато інших народів. Ми народжуємося і вмираємо, як народжуються і вмирають зірки, як індивідуально, так і колективно. Це наша реальність.

Життя таке цінне для нас тому, що воно швидкоплинне. І як писав Лукрецій: «Наш апетит до життя ненажерливий, наша жага життя невгамовна» (*De rerum natura*, III, 1084). Але, занурені в цю природу, що створила нас, що спрямовує нас, ми не є бездомними істотами у підвішеному стані між двома світами; істотами, які вийшли з природи, але лише частково належать до неї, прагнучи чогось іншого. Ні: ми вдома.

Природа — це наш дім, і в природі ми вдома. Цей дивний, багатокольоровий і приголомшливий світ, який ми досліджуємо, — де космос є зернистим, часу не існує, а речі перебувають в ніде, — все це не віддаляє нас від нашої істинної сутності, бо це лише те, що наша природна цікавість дозволяє нам дізнатися про місце, де ми живемо. Про матеріал, із якого ми самі зроблені.

Ми створені з того ж зоряного пилу, з якого складається все в світі, і коли ми поринаємо в скорботи або коли нас

## НА ЗАВЕРШЕННЯ: ХТО МИ Є?

переповняє велика радість, ми є тим, чим не можемо не бути, — частиною нашого світу. Лукрецій чудово висловлює це:

...всі ми народжені з одного небесного насіння;  
у всіх нас єдиний батько,  
від якого земля, мати, яка годує нас,  
отримує чисті краплини дощу,  
родючи з них відбірну пшеницю,  
і пишні дерева, і рід людський,  
і звірів різні види,  
подаючи їжу, якою живляться всі тіла,  
щоб насолоджуватися життям  
і народжувати потомство...

(II, 991-7)

Це частина нашої природи — любити і бути чесними, бажати знати більше і навчатися. Наше знання про світ не перестає зростати.

Є межі нашого розуміння, нам є ще чому вчитися, і наше прагнення знань палає. Є ще багато таємничого в найдрібніших частинках тканини простору, у походженні космоса, у природі часу, у феномені чорних дір, а також у роботі нашого власного розуму. Тут, на краю всесвіту, який ми знаємо, близько до океану невідомого, сяє таємниця і краса світу. І від цього перехоплює подих.



Науково-популярне видання

*РОВЕЛЛИ Карло*

## **Сім основних уроків з фізики**

Керівник проекту *В. В. Столяренко*  
Координатор проекту *К. В. Новак*  
Відповідальний за випуск *О. М. Пікалова*  
Редактор *Г. В. Сологуб*  
Художній редактор *Ю. О. Сорудейкіна*  
Технічний редактор *В. Г. Євлахов*

Підписано до друку 25.07.2016. Формат 70x108/32. Друк офсетний.  
Гарнітура «Georgia». Ум. друк. арк. 4.2.  
Наклад 10 000 пр. Зам. № .

Книжковий Клуб «Клуб Сімейного Дозвілля»  
Св. № ДК65 від 26.05.2000  
61140, Харків-140, просп. Гагаріна, 20а  
E-mail: [corp@bookclub.ua](mailto:corp@bookclub.ua)

Віддруковано з готових діапозитивів  
у друкарні «Фактор-Друк»  
61030, м. Харків, вул. Саратовська, 51. Тел.: + 3 8 057 717 53 57