

## ОДКРОВЕННЯ

нескінченні всесвіти і наші життя  
сплітаються в розкішні візерунки  
народження, старість, кохання, пізнання  
все це дар, якого ми не заслужили  
все це кордони, що їх ми хотіли здолати  
дивись, як з тиші виростає простір  
як гарно розсипано по ньому зорі  
як слухаються вони закону  
як говорять з нами своєю мовою  
які стародавні, які дивні діла довкола  
які досконалі годинники засвідчують цю красу  
час був перед нами і після нас буде  
у моєму розумі народжується новий світ  
в якому найдорожча річ — це ти

*Присвячую Бетсі*

Купити книгу на сайті [kniga.biz.ua](http://kniga.biz.ua) >>>

Купити книгу на сайті [kniga.biz.ua](http://kniga.biz.ua) >>>

## Передмова

### Друге народження

1

**В**ивчаючи фізичний світ на фундаментальному рівні, ми отримуємо важливі уроки. Про них ця книжка. Я зустрічав багато людей, які цікавилися тим, як влаштовано світ, і хотіли дізнатися більше про сучасну науку. Юристів, лікарів, художників, студентів, учителів, батьків, та й просто допитливих людей. Вони мали гострий розум, однак їм бракувало знань. У цій книжці я спробую висловити головні ідеї сучасної фізики максимально просто, не жертвуючи науковою точністю. У процесі роботи над текстом я постійно тримав у голові питання своїх допитливих друзів.

Фундаментальні уроки науки не зводяться для мене до голих фактів про те, як влаштовано фізичний світ. Звісно, це переконливі й дивовижно красиві факти, та найбільший здобуток людини — сам метод мислення, який дозволив ці факти відкрити. Тому важливо подивитися, що фундаментальні основи реальності говорять про саму людину, як вона вписується у величну картину природи.

2

Я вибрав десять фундаментальних принципів — кожному присвячено по розділу. У кожному розділі я на прикладах пояснюю тему з різних перспектив і висловлюю кілька аргументованих припущень на майбутнє. Мені було цікаво формулювати ці припущення, і, сподіваюся, вам буде цікаво їх читати. Вони покликані висловити ще одну важливу ідею: сучасна картина фізичного світу розвивається і міняється. Це жива річ.

Купити книгу на сайті [kniga.biz.ua](http://kniga.biz.ua) >>>

Я завжди ретельно відділяв припущення від фактів і не забував зазначити, у процесі яких спостережень та експериментів ми ці факти отримали. Можливо, найважливіша думка цієї книжки полягає в тому, що ми *справді* досконало розуміємо багато аспектів фізичного світу. Як казав Альберт Ейнштейн, «той факт, що Всесвіт пізнаваний, — справжнє диво». І з'ясування цього факту — теж неабияке досягнення людини.

Якщо ми вважаємо, що сама пізнаваність фізичного світу — це диво, то її слід продемонструвати, а не задекларувати. Найпереконливіший доказ цього дива полягає в тому, що розуміння законів природи, хай навіть неповне, дозволяє робити великі й дивовижні речі.

Своїми науковими дослідженнями я намагаюся заповнити лакуни в картині світу й розробити нові експерименти, які допоможуть розширити діапазон можливостей. Робота над цією книжкою дала мені приємну нагоду озирнутися, зробити крок назад, спокійно подумати і ще раз подивуватися, яких висот досягла наука завдяки поколінням учених та інженерів.

### 3

Слово «основи» в назві книжки — своєрідна альтернатива традиційному релігійному фундаменталізму. Я ставлю ті самі питання, однак шукаю відповідей у фізичній реальності, а не в релігійних текстах і традиціях.

Багато моїх наукових героїв — Галілео Галілей, Йоган Кеплер, Ісаак Ньютон, Майкл Фарадей, Джеймс Клерк Максвел — були ревними християнами. (І в цьому сенсі — дітьми свого часу й середовища.) Вони вважали, що наука допомагає наблизитися до Бога, віддати шану його величчю творінню. Ейнштейн, хоч і не був людиною релігійною у звичному смислі, сповідував схожий підхід. Він часто звертався до образу Бога (і називав його «Старим»), як у знаменитому афоризмі «Господь вигадує, але не мислить злого»\*.

---

\* Ейнштейн зімпровізував цей афоризм на вечірці в Принстонському університеті 1921 року. Хтось переказав йому чутку, ніби нові експерименти засвідчили, що

Дух наукового пошуку — і їхнього, і мого — заперечує догми, як релігійні, так і антирелігійні. Скажу так: досліджуючи, як влаштовано світ, ми досліджуємо, як працює Бог, і в такий спосіб *вивчаємо, що є Бог*. Якщо подивитися на науку під таким кутом, то виходить, що пізнання — це форма віри, а наукове відкриття — це одкровення.

#### 4

Робота над цією книжкою вплинула на те, як я сприймаю світ. Спершу я думав просто розповісти останні новини науки, та згодом книжка переросла в роздуми про пізнання. Коли я обдумував матеріал, то на думку несподівано спали дві взаємопов'язані теми. Мене вразила їхня ясність і глибина.

Перша тема — масштаб природи. Світ — величезний. У цьому неважко переконатися, подивившись у тиху ніч на зоряне небо, — ви побачите, що «там» дуже багато місця. Коли наука з'ясувала, скільки саме, розум не зміг осягнути цих чисел. Утім масштаб простору — це лише один аспект багатства природи, до того ж далеко не найважливіший для людського досвіду.

Як сказав Річард Фейнман про масштаб Усесвіту на атомному рівні, «там унизу багато місця». У тілі людини значно більше атомів, ніж зір у спостережуваному Всесвіті, у нашому мозку приблизно стільки нейронів, як зір у нашій галактиці. Всесвіт усередині людини не менш розмаїтий, ніж зовнішній світ.

Те саме можна сказати про час. Космічний час — величезний. Порівняно з часом, який минув від Великого вибуху, тривалість життя людини — крихітна, зникама мить.

І все ж, як ми далі поговоримо, людське життя вміщує набагато більше моментів свідомості, ніж історія Всесвіту вміщує людських життів. Нам подаровано величезні багатства «внутрішнього» часу.

---

швидкість світла не стала (із цього випливало, що теорія відносності хибна). Ейнштейн відмовився в це повірити і відповів німецькою: «*Raffiniert ist der Herr Gott, aber boshaft ist er nicht*». *Прим. пер.*

Фізичний світ теж величезний — він містить колосальну кількість ресурсів для творчості і сприйняття. Наука відкрила, що в довколишньому світі значно більше енергії і матерії у відомих і доступних формах, ніж людина наразі використовує. Це усвідомлення наділяє людину силою і заряджає амбіціями.

Неозброєним оком ми сприймаємо лише крихітний шар реальності, яку відкриває наука. Візьмімо, наприклад, зір. Це найпотужніший і найважливіший інструмент сприйняття зовнішнього світу. Та скільки лишається не побаченого! Телескопи й мікроскопи відкрили величезні поклади інформації, закодованої у світлі, якої людина не вміє побачити. Мало того, наш зір обмежено однією октавою на нескінченній клавіатурі електромагнітного випромінювання — від радіохвиль, мікрохвильових та інфрачервоних хвиль, з одного боку, до ультрафіолету, рентгенівських променів і гамма-променів, з іншого. Та навіть у межах цієї октави наш кольоровий зір слабкий. Органи чуття людини не сприймають чимало аспектів реальності, натомість розум долає природні обмеження в нескінченній спробі розширити вікно сприйняття.

## 5

Друга тема така: щоб правильно оцінити фізичний світ, людина має «народитися вдруге».

Коли визрівала ця книжка, народився мій онук Лука. Працюючи над чорновим варіантом тексту, я спостерігав перші місяці його життя. Бачив, як він із подивом досліджує власні руки й починає розуміти, як ними керувати. Бачив, з якою радістю він учився повзати по кімнаті й хапати різні предмети. Бачив, як він з ними експериментує — кидає, шукає і повторює, повторює, повторює, ніби сумнівається в результаті. І радісно сміється, коли знаходить.

Я раз у раз спостерігав, як Лука створює моделі світу. Він сприймав середовище з чистою дитячою допитливістю, без апіорних упереджень. Взаємодіючи із середовищем, він дізнавався речі, які дорослим здаються чимось очевидним. Наприклад,

що у світі є «ти» і «не-ти», що «ти» слухається сили думки, а «не-ти» не слухається, що властивості об'єктів не залежать від того, дивимося ми на них чи ні.

Діти — це маленькі вчені, які ставлять експерименти і роблять висновки. За мірками сучасної науки, їхні експерименти простенькі. Діти не працюють з телескопами, мікроскопами, спектроскопами, магнітометрами, синхрофазотронами, атомними годинниками та іншими інструментами, які допомагають нам створювати максимально достовірні моделі світу. Їхні експерименти обмежуються невеликим діапазоном температур; діти функціонують в атмосфері, яка має певний хімічний склад і тиск; їх (і всі їхні іграшки) притягує земне тяжіння, опорою їм служить поверхня Землі і т. д.

Діти конструюють модель світу, яка описує те, із чим вони мають справу *в межах своїх чуттів і середовища*. Для практичних цілей годиться. В умовах повсякденного життя цього достатньо — діти роблять правильні й надійні висновки про світ.

Однак фізичний світ, що його досліджує сучасна наука, дуже відрізняється від дитячих моделей. Якщо ми знову відкриваємося світу, виявляємо допитливість і відкидаємо упередження — словом, якщо ми дозволяємо собі народитися вдруге, — то приходимо до зовсім іншого розуміння світу.

Деякі речі нам доводиться вивчити. Світ складається з невеликої кількості базових будівельних блоків, які підлягають суворим, але дуже незвичним законам.

Деякі речі треба, навпаки, забути.

Квантова механіка відкрила, що неможливо спостерігати щось, не впливаючи на нього. Кожна людина отримує від зовнішнього світу унікальні сигнали. Уявіть, що ви з подругою сидите в темній кімнаті і спостерігаєте тьмяне світло. Зробіть світло дуже, дуже тьмяним, скажімо, замотайте торшер у кілька шарів тканини. Врешті-решт ви почнете бачити серію дискретних спалахів. Але ці спалахи ви побачите в різний час. Світло розбилося на окремі кванти, а кванти неможливо побачити одночасно. На цьому рівні реальності кожен із нас починає спостерігати свій окремий світ.



Психофізики\* відкрили, що свідомість не відповідає за рухи тіла безпосередньо, а радше обробляє інформацію від підсвідомих елементів, які й визначають ці рухи. Застосовуючи метод транскраніальної магнітної стимуляції (ТМС), учені можуть активувати лівий або правий моторні центри мозку людини. Правильно сформульований ТМС-сигнал у правий моторний центр викличе смикання в лівій долоні, а правильний ТМС-сигнал у лівий моторний центр викличе смикання у правій долоні. Гарвардський невролог Альваро Паскуаль-Леоне винахідливо використав цей метод у простому експерименті, з якого випливають нетривіальні висновки. Він попросив піддослідних, коли ті отримають сигнал, вирішити, якою долонею вони хочуть поворушити — правою чи лівою. Потім піддослідних попросили реалізувати свій задум, коли вони отримають додатковий сигнал. Піддослідні перебували в сканері головного мозку, тож експериментатори могли бачити, як моторні зони мозку готують цю дію. Якщо вони постановляли поворушити правою долонею, то активізувалася ліва моторна зона мозку; якщо лівою, то права. Так можна було передбачити, який вибір зробила людина ще до того, як вона поворушила долонею.

А тепер головне. У певний момент Паскуаль-Леоне давав ТМС-сигнал, який суперечив вибору піддослідного (і, відповідно, «переписував» його). Людина ворушила тією долонею, якою велів поворушити ТМС-сигнал, а не тією, яку обрала сама. Суть у тому, як піддослідні пояснювали, що трапилося. Вони *не* говорили, що якась зовнішня сила взяла над ними гору. Вони казали: «Я передумав».

З детального вивчення матерії випливає, що наше тіло і наш мозок — фізична основа нашого «я» — складається з тих самих будівельних блоків, що й «не-я», між ними існує тяглість, хоч цей висновок може здаватися контрінтуїтивним.

У дитячому віці ми часто поспішаємо з висновками, хибно розуміємо світ і самих себе. У довгій одісеї пізнання доводиться розучуватися не менше, ніж учитися.

---

\* Психофізика вивчає зв'язок між відчуттями й фізичними подразниками. *Прим. пер.*

6

Друге народження вмiє збентежити. Та водночас цей процес захопливий, як катання на американських гiрках. А в кiнцi приз: для тих, хто народжується вдруге в колiсцi науки, свiт знову стає свiжим, яскравим, величезним i дивовижно розмаїтим. Про таких людей написав Вiльям Блейк:

У пiщинцi побачити всесвiт,  
В дикiй квітцi — небес глибочiнь,  
Нескiнченностi тихий плескiт,  
I в годинi — вiчностi тiнь.

## Вступ

1

**В**сесвіт — дивне місце.

Для новонароджених світ — це джунглі дивовижних вражень. Розбираючись, що тут до чого, дитина невдовзі вчиться відрізняти сигнали, які народжуються у внутрішньому світі, від сигналів, які дає зовнішній. Внутрішній світ складається з відчуттів (наприклад, голоду, болю, задоволення, сонливості) і царства мрій. У ньому є також простір приватних думок (наприклад, тих, що скеровують погляд, рух і дуже скоро направлятимуть мовлення).

Зовнішній світ — це складна інтелектуальна конструкція. Її створенню дитина присвячує багато часу. Вчиться впізнавати стабільні патерни, які, на відміну від тіла, не підлягають владі її думок. Організовує ці патерни в об'єкти. Дитина дізнається, що поведінку і властивості цих об'єктів можна передбачити.

Врешті-решт наша дитина починає усвідомлювати, що деякі істоти у світі схожі на неї саму і з ними можна взаємодіяти. Обмінюючись з ними інформацією, вона поступово переконується, що ці істоти теж ділять світ на внутрішній і зовнішній. Мало того, вони однаково сприймають багато об'єктів зовнішнього світу, і ці об'єкти підлягають однаковим правилам.

2

Розуміння, як контролювати спільний зовнішній світ — інакше кажучи, фізичний світ — це, звісно, важлива практична потреба, у ній багато аспектів.

Купити книгу на сайті [kniga.biz.ua](http://kniga.biz.ua) >>>

Скажімо, щоб вижити в суспільстві мисливців-збирачів, дитина повинна навчитися знаходити воду, відрізняти їстівні рослини і тварини від неїстівних, уміти їх вирощувати або на них полювати; уміти готувати їжу; володіти багатьма іншими знаннями й навичками.

У складніших суспільствах постають інші виклики: як виготовляти спеціалізовані знаряддя праці, як будувати надійні інженерні споруди, як вести обрахунок часу. Упродовж багатьох поколінь люди відкривали, нагромаджували і ділилися успішними методами вирішення проблем, що їх ставить фізичний світ. Ці методи склали «технологію» відповідного суспільства.

Суспільства, які не знали науки в сучасному значенні цього слова, теж розвинули доволі складні технології. Завдяки деяким технологіям люди змогли — і досі можуть — вижити в несприятливому середовищі, наприклад, в Арктиці чи в пустелі Калахари. Інші технології уможливили будівництво великих міст і приголовшливих споруд, наприклад, пірамід у Давньому Єгипті чи в Центральній Америці.

Однак до появи сучасного наукового методу розвиток технологій був справою випадку. Люди знаходили ефективні рішення більш-менш випадково. Натрапивши на який-небудь корисний метод, вони передавали його далі у формі специфічних процедур, ритуалів і традицій. Люди не зводили ці рішення в якусь логічну систему і не докладали систематичних зусиль, щоб їх удосконалити.

Практичні, повсякденні технології дозволяли людям виживати, продовжувати рід, насолоджуватися дозвіллям і вести цілком задовільний спосіб життя. Для більшості людей у більшості культур упродовж більшої частини історії цього було цілком достатньо. У людей не було способу дізнатися, що їм чогось бракує. Так само вони не здогадувалися, що те, чого їм бракує, може бути важливим.

Тепер ми знаємо, що їм бракувало багатьох речей. Ось вам промовистий графік, який показує розвиток продуктивності праці в часі.



### 3

Сучасний підхід до вивчення світу сформувався в Європі у сімнадцятому столітті. Окремі протонаукові ідеї виникали й раніше, в інших регіонах теж, однак лише тоді сукупність проривних ідей обернулася справжньою науковою революцією. Вона дуже промовисто продемонструвала, яких висот може досягнути творчий розум, озброєний істинним методом. Це стало взірцем для подальших досліджень і дало поштовх до появи сучасної науки, яка дивиться у завтрашній день, а не у вчорашній.

Сімнадцяте століття стало свідком колосального прогресу в технології і теорії, зокрема в розвитку механічних пристроїв і кораблів, оптичних інструментів (мікроскопів і телескопів), годинників і календаря. Безпосередній наслідок прогресу — люди здобули більше влади над природою, більше побачили, надійніше облаштували своє життя. Утім справжня основа наукової революції — річ набагато тонша і менш очевидна, саме в ній полягає унікальність ситуації. Вона змінила картину світу, наповнила людину новими прагненнями і впевненістю у своїх силах.

У методі Кеплера, Галілея і Ньютона поєднувалася повага до фактів і готовність учитися у природи з інтелектуальною сміливістю: людина почала застосовувати нове знання в нових, досі небачених ситуаціях. Спрацює — відкриєш щось корисне, не

спрацює — дізнаєшся щось важливе. Я називаю цей підхід «радикальним консерватизмом», на мою думку, це засадничий елемент наукової революції.

Радикальний консерватизм консервативний тому, що пропонує вчитися у природи і поважати факти, а це найголовніші аспекти методу, який ми називаємо науковим. Водночас він радикальний, бо випробовує на міцність усе, що ми дізналися, і не робить знижок. Саме завдяки цим двом аспектам наука працює. Вони штовхають її вперед.

#### 4

Найбільше натхнення новому світогляду давав розвиток дисципліни, яка вже в сімнадцятому столітті вважалася стародавньою і добре розвиненою: небесної механіки — науки про рух небесних тіл.

Люди помітили закономірності в чередуванні дня і ночі, зміні сезонів, фазах Місяця і руху зір задовго до початку писемної історії. Після появи сільського господарства знадобилося точно відраховувати пори року, щоб сіяти і збирати врожай у правильний час. Ще один важливий, хоч і хибний, мотив вести ретельні спостереження за небом — переконання, що людське життя безпосередньо пов'язане з космічними ритмами: астрологія. У кожному разі уважно спостерігати за небом людей спонукали різні причини, зокрема й проста допитливість.

Виявилось, що переважна більшість зір рухаються простими, передбачуваними траєкторіями. Сьогодні ми інтерпретуємо видимий рух зір як результат обертання Землі довкола своєї осі. «Нерухомі зорі» настільки далеко, що порівняно невеликі зміни у відстані до них через їхній рух або через рух Землі довкола Сонця невидимі неозброєним оком. Проте кілька виняткових небесних тіл — Сонце, Місяць, кілька «мандрівних» зір, зокрема Меркурій, Венера, Марс, Юпітер і Сатурн, що їх видно неозброєним оком, — не вписувалися в цю схему.

Стародавні астрономи впродовж багатьох поколінь фіксували положення цих особливих тіл і врешті-решт навчилися доволі

точно його передбачати. Для цього знадобилися нетривіальні геометричні й тригонометричні розрахунки, проведені за складними, але цілком конкретними правилами. Птолемеєм (бл. 100–170) підсумував стародавні знання в математичному трактаті під арабською назвою «Альмагест» (слово «магест» у грецькій мові означало «найбільший», «найвеличніший», воно однокореневе з «магістром», «аль» — це просто означений артикль в арабській мові).

Трактат Птолемея став дивовижним досягненням, однак у ньому було два вузьких місця: він був дуже складний, а отже, незграбний. Зокрема, формули, за якими він обраховував рух планет, містили багато чисел, які просто припасовували розрахунки до спостережень, за цими формулами не стояло якогось фундаментального принципу.

Миколай Копернік (1473–1543) завважив, що одні числа можна пов'язати з іншими в дивовижно простий спосіб. Загадковий, «випадковий», здавалося б, зв'язок легко пояснити в геометричних категоріях, якщо припустити, що Земля, а також Венера, Марс, Юпітер і Сатурн — усі обертаються довкола Сонця (а Місяць обертається довкола Землі).

Друга вада трактату Птолемея очевидніша: він неточний. Тихо Браге (1546–1601), ніби передчуваючи епоху «великої науки», сконструював дуже складні інструменти і витратив грубі гроші на обсерваторію, яка дозволила провести точніші спостереження за рухом планет. Нові спостереження засвідчили, що Птолеєм помилявся: прогнози, які впливають з його розрахунків, явно розходяться з реальністю.

Йоган Кеплер (1571–1630) створив геометричну модель руху планет — просту і точну. Він розвинув ідеї Коперніка і вніс важливі технічні поправки в модель Птолемея, зокрема, припустив, що планети рухаються довкола Сонця не по кругових орбітах, а по еліптичних, а Сонце розташовується у фокусі еліпса. Він також припустив, що швидкість обертання планет довкола Сонця залежить від їхньої відстані до Сонця так, що за однаковий час вони покривають однакову площу еліпса. Усе це суттєво спростило небесну механіку, і вона стала набагато точнішою.