

Основи. 10 ключів до реальності

Щодня ми не замислюємося про те, як влаштований Всесвіт. Та попри це фізичні закони постійно діють навколо нас. І автор цієї книжки покаже це. Наші моделі мислення дуже зациклені на тому, що відбувається тут і зараз, на поверхні, але інколи варто копнути трошки глибше, щоб побачити: світ повсюдно складається з законів фізики, фізичних об'єктів і явищ. Але щоб охопити це фізичне, треба розвинути межі свого мислення. Нобелівський лауреат Френк Вільчек пропонує читачеві просте, але глибоке дослідження реальності, засноване на найновіших відкриттях сучасної науки. Автор досліджує ідеї, які формують наше розуміння Всесвіту: час, простір, матерію, енергію, складність і взаємодоповнюваність. Він розкопує історію фундаментальної науки, досліджуючи те, що ми знаємо, водночас подорожує до обріїв наукового світу, щоб дати нам уявлення про те, що ми можемо відкрити незабаром. Завдяки цій книжці ви зможете побачити світ по-новому — більшим, повнішим і набагато дивовижнішим.

від лауреата Нобелівської премії

Френк Вільчек

**10 ключів
до реальності**

Перекладач Микола Климчук



**10
К
Л
Ю
Ч
І
В**

Основи

Frank Wilczek

Fundamentals

Ten Keys to Reality

Penguin Press
New York
2021

Френк Вільчек

ОСНОВИ

10 ключів до реальності

У перекладі
Миколи Климчука

Лабораторія
Київ
2021

УДК 53.02+52
В46

Вільчек Френк

В46 Основи 10 ключів до реальності / пер. з англ. Микола Климчук. — К. : Лабораторія, 2021. — 208 с.

ISBN 978-617-7965-58-8 (м'яка обкладинка)
ISBN 978-617-7965-59-5 (електронне видання)
ISBN 978-617-7965-60-1 (аудіокнига)

Фізика багатьом видається надто складною наукою, щоб можна було розібратися в усіх її особливостях. Та нобелівський лауреат Френк Вільчек доводить, що розуміння лише 10 основних фізичних концепцій достатньо, аби досягнути цю масштабну науку. Простір, час, матерія, енергія — як багато ми справді знаємо про ці, здавалося б, прості поняття? Попри визначні досягнення, Вільчек уміє розповісти про них досить просто, послідовно і з повним охопленням необхідних тем. Ви дізнаєтеся, як відбулося відкриття електронів; зможете розібратися в квантовій хромодинаміці; простежите перебіг думок Ньютона та встигнете почерпнути багато чого іншого, що раніше здавалося не-осяжним для розуміння.

УДК 53.02+52

Перекладено за виданням: Frank Wilczek. *Fundamentals: Ten Keys to Reality* (New York: Penguin Press, 2021; ISBN 978-0-735-22379-0)

Літературна редакторка *Ольга Дубчак*. Наукова редакторка *Ірина Єгорченко*. Коректорка *Інна Іванюк*. Верстальниця *Олена Білохвост*. Технічний редактор *Микола Климчук*. Художня редакторка *Оксана Гаджій*. Дизайн обкладинки *Льодо*. Відповідальний за випуск *Антон Мартинов*. Дякуємо *Денису Потапову* за любязну допомогу в роботі над цим виданням.

Підписано до друку 08.04.2021. Формат 60×90/16. Друк офсетний. Тираж 1000 прим. Замовлення № 602119. Надруковано в Україні видавництвом «Лабораторія» у тов «Конві Прінт», вул. Антона Цедіка, 12, м. Київ, Україна, 03680. Свідоцтво дк № 6115 від 29.03.2018. Термін придатності необмежений.

тов «Лабораторія», пр. Степана Бандери, 6, м. Київ, Україна, 04073, тел. (097) 975-52-23, info@laboratoria.pro. Свідоцтво дк № 7100 від 14.07.2020. Висновок Держ. сан.-епідем. експертизи № 12.2-18-1/28536 від 17.12.2020.

Науково-популярне видання

ISBN 978-617-7965-58-8 (м'яка обкладинка)
ISBN 978-617-7965-59-5 (електронне видання)
ISBN 978-617-7965-60-1 (аудіокнига)

Усі права застережено. All rights reserved
© 2020 by Frank Wilczek
© Климчук М., пер. з англ., 2021
© тов «Лабораторія», виключна ліцензія на видання, оригінал-макет, 2021

ЗМІСТ

[Передмова. Друге народження](#)

[Вступ](#)

[Частина I. ЩО ТУТ У НАС?](#)

[1. Багато простору](#)

2. Багато часу

3. Коротенький список інгредієнтів

4. Коротенький список законів

5. Багато матерії та енергії

Частина II. ПОЧАТОК І КІНЕЦЬ

6. Космічна історія — відкрита книга

7. Поява складності

8. І це ще далеко не все

9. Загадки залишаються

10. Комплементарність — розширення можливостей мозку

Післямова. Довга дорога додому

Подяки

Додаток

Про автора

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

Передмова. Друге народження

1

Вивчаючи фізичний світ на фундаментальному рівні, ми отримуємо важливі уроки. Про них ця книжка. Я зустрів 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.

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 Максвелл — були ревними християнами. (І в цьому сенсі — дітьми свого часу й середовища.) Вони вважали, що наука допомагає наблизитися до Бога, віддати шану його величому 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»¹.

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, зникаюча 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.

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, дивимось 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.

Психофізики² 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 трапилось. 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.

6

Друге народження вміє збентежити. Та водночас цей процес захопливий, як катання на американських гірках. А в кінці приз: для тих, хто народжується вдруге в колисці науки, світ знову стає

свіжим, яскравим, величезним і дивовижно розмаїтим. Про таких людей написав Вільям Блейк:

*У піщинці побачити всесвіт,
В дикій квітці — небес глибочінь,
Нескінченності тихий плескіт,
І в годині — вічності тінь.*

¹ Ейнштейн зімпровізував цей афоризм на вечірці в Принстонському університеті 1921 року. Хтось переказав йому чутку, ніби нові експерименти засвідчили, що 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.*

² Психофізика вивчає зв'язок між відчуттями й фізичними подразниками. *Прим. пер.*

Вступ

1

Всесвіт — 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.

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 становлять «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 Калахарі. Інші технології уможливили будівництво великих міст і приголомшливих 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 Птолемей помилявся: прогнози, які випливають 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.

Тим часом на поверхні Землі Галілео Галілей (1564–1642) ретельно досліджував прості форми руху (наприклад, рух кульки

по нахиленій площині і коливання маятника). Ці нехитрі дослідження надали поняттям положення й часу кількісного виміру і, на перший погляд, не мали стосунку до великих питань світобудови. Звісно, для більшості колег Галілея, які займалися великими філософськими питаннями, усе це здавалося чимось нудним і банальним. Однак ідеї Галілея породили зовсім інший підхід до пізнання. Він хотів розуміти *бодай щось*, але точно, аніж *усе*, але приблизно. Галілей шукав — і знайшов — точні математичні формули, які вичерпно описували його простенькі досліді.

Ісаак Ньютон (1643–1727) поєднав геометрію Кеплера, яка описувала рух планет, з динамікою Галілея, яка описувала рух на Землі. Він продемонстрував, що і теорію руху планет Кеплера, і теорію спеціального руху Галілея, треба розуміти, як окремі випадки загальних законів, які стосуються всіх тіл без винятку в будь-який час. Теорія Ньютона, яку ми тепер називаємо класичною механікою, вела науку від однієї перемоги до іншої, пояснила рух морських хвиль на Землі, дозволила передбачити траєкторії комет і лягла в основу великих здобутків інженерної справи.

Ньютон переконливо довів, що, почавши з детального розбору простих випадків, можна крок за кроком дійти до великих питань. Він назвав цей метод «аналізом» і «синтезом». Цей метод лежить в основі радикального консерватизму в науці.

Ось як писав сам Ньютон:

І в математиці, і в натуральній філософії дослідження складних сутностей методом аналізу мусить передувати дослідженню методом синтезу. Метод аналізу складається з експериментів і спостережень, а також загальних висновків з них, виведених методом індукції [...] так можна дійти від суміші до її інгредієнтів, від руху до сил, які його викликають; і загалом від ефектів до їхніх причин, від конкретних причин до загальних, допоки аргументація не дійде до речей найзагальніших. Це метод аналізу. Метод синтезу полягає в допущенні певних причин як принципів, що доказово пояснюють явища, які з них випливають.

Перед тим як попрощатися з Ньютоном, наведу ще одну цитату, яка показує його зв'язок і з попередниками Галілеєм та Кеплером, і з усіма нами, хто пішов по їхніх слідах.

Пояснити всю природу — надто складне завдання для однієї людини і навіть для однієї епохи. Тому набагато краще достеменно дослідити щось мале, а решту лишити тим, хто прийде після нас.

Слова Джона Пірса, одного з піонерів інформатики, добре передають різницю між сучасною концепцією наукового пізнання та іншими підходами:

Ми вимагаємо, щоб наші теорії узгоджувалися з широким спектром явищ, що їх вони претендують пояснити. І наполягаємо, щоб вони давали не тільки пояснення, а й служили корисним дороговказом.

Пірс розумів, що такі високі стандарти обходяться дорогою ціною. Доводиться жертвувати звичним поглядом на світ. «Ми вже ніколи не розумітимемо природу так глибоко, як грецькі філософи... Ми забагато знаємо». Та, по-моєму, ціна не надто висока. У кожному разі, дороги назад немає.

Частина I

ЩО ТУТ У НАС?

1. Багато простору

У зовнішньому світі дуже багато простору. Так само багато простору «всередині» людини.

Коли хтось констатує, що існують речі великі — скажімо, спостережуваний Усесвіт або людський мозок, — треба спитати: порівняно з чим? Звичний орієнтир — масштаб повсякденного людського життя. Це контекст наших перших моделей світу, що їх ми будуємо в дитинстві. Масштаб фізичного світу ми відкриваємо, коли дозволяємо собі народитися вдруге.

За мірками повсякденного життя, світ «там» — гігантський. Ми інтуїтивно відчуваємо, що Всесвіт *величезний*, коли в ясну ніч дивимося в зоряне небо. Не потребуючи ретельного аналізу, ми відчуваємо, що відстані у Всесвіті набагато більші за масштаб нашого тіла, найдовша наша подорож не зрівняється з такими відстанями. Наукова картина світу не лише підтверджує, а й розширює відчуття величезного масштабу.

Масштаб Усесвіту приголомшує людину. Французький математик, фізик і філософ Блез Паскаль (1623–1662) відчував це, і його це гнітило. Він писав: «Простором усесвіт осягає і поглинає мене як точку». Такі відчуття, як у Паскаля — «я дуже маленький, від мене у Всесвіті нічого не залежить» — звичний мотив у літературі, філософії і теології. Він фігурує в багатьох молитвах і псалмах.

Хороша новина полягає в тому, що не все зводиться до розміру. Наш *внутрішній усесвіт* — штука тонка і вразлива, однак не менш глибока. Ми бачимо це, коли розглядаємо речі навпаки, «згори вниз». І там унизу багато простору. В усіх відношеннях, які мають значення, людина — дивовижно величезна сутність.

У старших класах школи ми дізналися, що основні структурні одиниці матерії — це атоми й молекули. У категоріях цих

одиниць людське тіло величезне. У людському тілі приблизно 10^{28} атомів, це одиниця з 28 нулями:

10 000 000 000 000 000 000 000 000 000.

Предметно уявити це число попросту неможливо. Ми придумали для нього назву — десять октильйонів — і якщо докласти зусиль, то можна навчитися оперувати такими великими числами. Але вони виходять за рамки звичайного мислення, яке спирається на повсякденний досвід — у житті нам не випадає проводити обрахунки з такими великими числами. Ми не можемо уявити так багато крапок — проєктної потужності нашого мозку не вистачає.

Кількість зір, які можна побачити неозброєним оком в ясну погоду при новому Місяці, — максимум кілька тисяч. З іншого боку, десять октильйонів — кількість атомів у людському тілі — це приблизно в мільйон разів більше за кількість зір у всьому видимому Всесвіті. У цьому дуже конкретному сенсі всередині нашого тіла міститься всесвіт.

Волт Вітмен (1819–1892), знаменитий американський поет, інстинктивно відчував величезний внутрішній масштаб людини. «Я великий, я вміщую безліч світів». Радісна поетична констатація внутрішнього багатства людини так само закорінена в об'єктивних фактах, як і гіркий сентимент Паскаля стосовно масштабів Усесвіту. До того ж краще відображає людський досвід.

Світ великий, але й ми не малі. Правильніше буде сказати, що існує багато простору, незалежно від того, зменшуємо ми масштаб чи збільшуємо. Не варто заздрити Всесвіту тільки тому, що він великий. Ми теж великі. Достатньо великі, щоб осягнути зовнішній світ розумом. Паскаль теж утішався цією думкою і після слів «простором усесвіт осягає і поглинає мене як точку» оптимістично написав «мисленням я осягаю його».

Розмір простору — зовнішнього і внутрішнього — головна тема цього розділу. Ми розглянемо залізні факти, а потім спробуємо зробити наступний крок.

Зовнішній простір. Що ми знаємо і як це дізналися

Прелюдія. Геометрія і реальність

Наукова розмова про космічні відстані спирається на уявлення людини про простір як такий і на науку про вимірювання відстаней — геометрію. Почнімо зі зв'язку науки геометрії з реальністю.

Повсякденний досвід каже, що об'єкти можуть рухатися з одного місця в інше, не міняючи своїх властивостей. Це приводить до ідеї «простору» як своєрідного вмістилища, резервуара, де розташовані об'єкти природи.

Практичні потреби землекористування, архітектури, навігації змусили людей вимірювати відстані між сусідніми об'єктами та кути між лініями. Поступово люди відкрили закономірності евклідової геометрії.

Практичні потреби розвивалися й ускладнювалися, і концептуальні рамки геометрії працювали дивовижно ефективно. Евклідова геометрія була такою ефективною, такою гарною у своїй логічній структурі, що ніхто не сумнівався — вона описує фізичну реальність правильно. На початку дев'ятнадцятого століття Карл Фрідріх Гаус (1777–1855), один з найвидатніших математиків усіх часів, подумав, що варто перевірити адекватність її засад. Він виміряв кути трикутника, утвореного трьома віддаленими гірськими вершинами, і з'ясував, що сума з припуском на похибку становить 180° , як і має бути в геометрії Евкліда. На основі принципів евклідової геометрії (і спеціальної теорії відносності) побудовано, наприклад, глобальну систему позиціонування, GPS. Вона щодня ставить мільйони експериментів, як той, що в Гауса, тільки на більшому масштабі і з вищою точністю. Подивімося, як це працює.

Щоб визначити свої координати за допомогою GPS, ви обмінюєтеся сигналами із системою штучних супутників Землі, які знають свої координати. (Далі ми поговоримо, як це відбувається.) Зараз таких супутників понад тридцять, вони розташовуються на орбіті за певною схемою. Супутники транслюють не розмови й музику, а свої координати у цифровій формі, яку розуміють комп'ютери. Ці сигнали містять мітку часу

— коли їх надіслали. На кожному супутнику стоять суперточні атомні годинники — вони й відповідають за мітку часу. Потім:

1. Ваш GPS-пристрій отримує сигнал із супутника. У нього є доступ до сигналів точного часу, які генерує мережа наземних годинників, він обраховує, як довго йшов сигнал з різних супутників. Швидкість сигналу відома — це швидкість світла — тому, знаючи час, який минув між запуском і отриманням сигналу, можна визначити відстані до супутників.
2. Знаючи ці відстані, координати супутників і евклідову геометрію, комп'ютер методом тріангуляції визначає свої — тобто ваші — точні координати.
3. Комп'ютер повідомляє вам ці координати, і так ви знаєте, куди заблукали.

Повноцінне розгортання системи GPS потребувало багатьох тонких поправок, але основний принцип саме такий. Ця система дуже схожа на «уявний експеримент» Альберта Ейнштейна про точку відліку в його статті про спеціальну теорію відносності³. У 1905 році він висловив ідею, що на основі променів світла і часу, витраченого ними на дорогу, можна визначати положення об'єктів у просторі. Ейнштейну подобалася ця ідея, бо вона спиралася на метод, закорінений у самих законах фізики (швидкість світла — константа природи). З розвитком технологій ми змогли реалізувати цей уявний експеримент на практиці.

Ось вам вправа на візуальну уяву: переконайте себе, що відстані до чотирьох супутників з відомими координатами дають більш ніж достатньо інформації, щоб визначити ваші координати.

(Ось вам підказка: точки на певній відстані від супутника лежать на поверхні сфери, центром якої виступає цей супутник. Якщо ми візьмемо дві сфери, центрами яких є два різні супутники, то ці сфери або перетинатимуться (і перетин у реальній ситуації — це коло), або ні. Позаяк ваші координати — десь на перетині, то краще б вони перетиналися. Тепер уявімо, що це коло перетинає третя сфера із центром на третьому супутнику таким чином, що буде дві точки перетину. І, нарешті, сфера четвертого супутника визначить одну із цих двох точок.)

Кінець безкоштовного уривку. Щоби читати далі, придбайте,
будь ласка, повну версію книги.

ridmi
ТВІЙ УЛЮБЛЕНИЙ КНИЖКОВИЙ

КУПИТИ