

ПЕРЕДМОВА

ЗІБРАННЯ ВИДАТНИХ МИСЛИТЕЛІВ

Пауль Еренфест ледь не плакав через те, що вирішив зробити. Невдовзі він візьме участь у тижневому зібранні, де чимало творців квантової революції спробують осмислити значення того, що вони створили. Там йому доведеться сказати давньому другові Альбертові Айнштайну, що він вирішив стати на бік Нільса Бора. Еренфест, тридцятичотирирічний австрійський професор теоретичної фізики Лейденського університету в Нідерландах, був переконаний: світ атомів дійсно такий чудернацький та ефемерний, як стверджує Бор¹.

За столом для засідань Еренфест передав Айнштайнові записку, де нашкрібав нерозбірливим почерком: «Не смійся! У чистилищі є спеціальний відділ для професорів квантової теорії, де ті будуть змушені щодня по десять годин слухати лекції з класичної фізики»². «Мене смішить лише їхня наївність, — відповів Айнштайн. — Як знати, хто сміятиметься [останнім] за кілька років?»³ Проте йому було не до сміху, адже на кону стояла сама природа реальності й душа фізики.

Фото учасників п'ятого Сольвеївського конгресу «Електрони й фотони», який проходив у Брюсселі з 24 по 29 жовтня 1927-го, розповідає про найдраматичніший період за всю історію фізики. З огляду на те, що 17 із 29 запрошених науковців зрештою отримали Нобелівську премію, цей конгрес став одним із найграндіозніших зібрань видатних мислителів⁴. Він ознаменував кінець золотої доби фізики — епохи наукової творчості, що не мала собі рівних із часів наукової революції XVII століття на чолі з Галілеєм і Ньютоном.

Пауль Еренфест стоїть в останньому ряду, трохи нахилившись уперед, третій ліворуч. У першому ряду сидять дев'ятеро

вчених: вісім чоловіків та одна жінка. Шестеро з них мають Нобелівську премію з фізики або хімії. У жінки дві Нобелівські премії — з фізики (1903) та хімії (1911). Її ім'я — Марія Кюрі. У центрі на почесному місці розташований ще один лауреат Нобелівської премії, найвідоміший учений із часів Ньютона — Альберт Айнштайн. Він дивиться прямо перед собою, ухопившись за стілець правою рукою і, схоже, почувається дещо ніяково. Що саме завдає йому незручності: комір із крильцями й краватка чи, може, почуте протягом минулого тижня? У кінці другого ряду праворуч — Нільс Бор: у невимушеній позі, з дещо загадковою посмішкою. Для нього цей конгрес був вдалим. А втім, Бор повертатиметься до Данії розчарований, адже йому не вдалося вмовити Айнштейна погодитися з «копенгагенською інтерпретацією» того, як квантова механіка трактує природу реальності.

Замість поступитися, Айнштайн протягом усього тижня намагався продемонструвати суперечливість квантової механіки та хибність сформульованої Бором інтерпретації. Через багато років він сказав: «Ця теорія нагадує мені систему марень надзвичайно розумного параноїка, утворену з логічно непослідовних елементів думок»⁵.

Квант відкрив саме Макс Планк, який сидить праворуч від Марії Кюрі, тримаючи в руках капелюх і сигару. 1900-го він змушений був визнати, що матерія може вивільняти чи поглинати енергію світла та інших різновидів електромагнітного випромінювання лише певними порціями різної величини. Планк назвав окрему порцію енергії «квантом». Концепція кванта енергії означала принциповий відхід від усталених уявлень стосовно того, що енергія випромінюється чи поглинається безперервно, ніби вода, яка тече з крана. У звичайному світі макроскопічних об'єктів, де панує фізика Ньютона, вода може крапати з крана, але енергія не передається краплями різного розміру. Втім атомний і субатомний рівні реальності таки виявилися цариною кванта.

Згодом з'ясувалося, що енергія електрона в атомі є «квантованою», тобто він може мати лише певні значення енергії. Те саме стосувалося й інших фізичних властивостей, оскільки мікросвіт виявився неоднорідним і дискретним середовищем, а не зменшеною версією великого світу, де фізичні властивості змінюються плавно й безперервно, а шлях від точки А до точки В пролягає через точку Б. Квантова фізика показала, що, виділивши або поглинувши квант енергії, електрон в атомі може бути в одному місці, а потім, немов за помахом чарівної палички, опинитися в іншому, так і не з'явившись у проміжку між ними. Це явище виходило за межі класичної, неквантової фізики. За химерністю воно не поступалося тому, щоб який-небудь предмет загадково зник у Лондоні, а за мить раптово з'явився в Парижі чи в Нью-Йорку.

На початку 20-х років ХХ століття стало зрозуміло, що з огляду на свій спонтанний, фрагментарний розвиток квантова фізика залишилася без міцного фундаменту чи логічної структури. У такому середовищі плутанини й кризи виникла нова смілива теорія — квантова механіка. Картину атома як крихітної сонячної системи з електронами, що обертаються навколо ядра (так досі пояснюють будову атома в школах) відкинули й замінили на атом, який неможливо уявити наочно. А потім 1927-го Вернер Гайзенберг зробив відкриття, яке настільки суперечило здоровому глузду, що навіть йому, німецькому генієві квантової механіки, спочатку важко було досягнути його значущість. Принцип невизначеності свідчив: якщо потрібно встановити точну швидкість частинки, тоді неможливо визначити її точну координату, і навпаки.

Ніхто не знав, як тлумачити рівняння квантової механіки та що говорить ця теорія про природу реальності на квантовому рівні. Питання про причину й наслідок або про те, чи існує Місяць, коли ніхто на нього не дивиться, були цариною філософів іще з часів Платона й Арістотеля, але після появи квантової механіки їх почали обговорювати найвидатніші фізики ХХ століття.

Коли було сформульовано всі основні концепції квантової фізики, відбувся п'ятий Сольвеївський конгрес, який відкрив новий розділ в історії кванта. Адже суперечка, що спалахнула між Айнштайном і Бором, порушила питання, які донині хвилюють багатьох видатних фізиків і філософів: якою є природа реальності та який її опис слід вважати змістовним? «Ще ніколи не було глибшої інтелектуальної дискусії, — заявив учений і письменник Чарльз Персі Сноу. — Шкода, що ця дискусія, з огляду на її природу, не може стати доступною для всіх»⁶.

Айнштайн, один із двох головних героїв цієї історії, став іконою XX століття. Якимось йому запропонували протягом трьох тижнів вести власне шоу в лондонському театрі «Палладіум». Жінки непритомніли в його присутності. У Женеві навколо нього юрмилися дівчата. У наш час так обожають лише попспіваків і кінозірок. Утім, після Другої світової війни саме Айнштайн став першою суперзіркою науки, коли 1919-го було підтверджено гравітаційне викривлення світла, передбачене його теорією загальної відносності. Мало що змінилося й згодом, коли в січні 1931-го, під час лекційного туру Америкою, Айнштайн відвідав прем'єру фільму Чарлі Чапліна «Вогні великого міста» (*City Lights*) в Лос-Анджелесі. Побачивши Чапліна та Айнштайна, люди почали вітати їх бурхливими оплесками й вигуками. «Мене вітають, тому що всі мене розуміють, — сказав Чаплін Айнштайну. — А вас вітають, тому що вас не розуміє ніхто»⁷.

Тоді як ім'я Айнштайна є символом наукового генія, Нільс Бор був і залишається менш відомим. Проте в уявленні його сучасників він — беззаперечний титан науки. 1923-го Макс Борн, який відіграв вирішальну роль у розвитку квантової механіки, писав: «Вплив Бора на теоретичні й експериментальні дослідження сучасності перевищує вплив інших фізиків»⁸. Через сорок років Вернер Гайзенберг стверджував: «Вплив Бора на фізику й фізиків нашого століття був сильнішим за вплив будь-кого іншого, навіть самого Айнштайна»⁹.

Коли 1920-го Айнштайн і Бор уперше зустрілися в Берліні, кожен із них знайшов інтелектуального спаринг-партнера, який без будь-якої злоби чи ворожнечі підштовхував і спонукав іншого вдосконалювати й відточувати свої уявлення про квант. Саме завдяки їм та деяким іншим учасникам Сольвеївського конгресу 1927 року ми можемо осмислити перші роки квантової фізики. «Це героїчний час, — згадував американський фізик Роберт Оппенгеймер, який у 1920-х був студентом. — Це період кропіткої роботи в лабораторії, українських експериментів і сміливих учинків, численних фальш-стартів та необґрунтованих припущень. Це період серйозного листування й поспішно скликаних конференцій, суперечок, критики та блискучої математичної імпровізації. Для всіх учасників процесу це був період творення»¹⁰. Водночас батько атомної бомби зауважив: «Їхнє нове бачення викликало жах і захват».

Без кванта світ, у якому ми живемо, був би зовсім іншим. Але протягом більшої частини XX століття фізики визнавали, що квантова механіка заперечує існування реальності за межами того, що можна виміряти під час експериментів. Саме тому американський лауреат Нобелівської премії фізик Маррі Гелл-Манн охарактеризував квантову механіку так: «Це загадкова, заплутана дисципліна, якої жоден із нас насправді не розуміє, але ми знаємо, як її застосовувати»¹¹. І ми її дійсно застосовуємо. Квантова механіка рухає і формує сучасний світ, роблячи можливим створення всього — від комп'ютерів до пральних машин, від мобільних телефонів до ядерної зброї.

Історія кванта починається наприкінці XIX століття, коли, попри нещодавнє відкриття електрона, X-променів і радіоактивного випромінювання та попри постійні суперечки щодо того, чи існує атом, чимало фізиків були впевнені: значущих відкриттів більше не залишилося. «Найважливіші фундаментальні закони й факти фізичної науки вже відкрито, і вони

* Рентгенівське випромінювання (прим. наук. ред.).

так міцно вкорінилися, що можливість їх витіснення низкою інших відкриттів видається дуже малоімовірною», — сказав американський фізик Альберт Майкельсон 1899-го. «Наші майбутні відкриття, — стверджував він, — зосереджуватимуться на шостому знакові після коми»¹². Багато хто поділяв думку Майкельсона, вважаючи, що будь-які нерозв'язані задачі не становлять особливої загрози усталеній фізиці й рано чи пізно поступляться теоріям і принципам, які перевірені часом.

Видатний фізик-теоретик XIX століття Джеймс Кларк Максвелл ще в 1871 році застерігав проти такої самозаспокоєності: «Характерна особливість сучасних експериментів (те, що вони зводяться здебільшого до вимірювань) настільки помітна, що велике поширення отримала така думка: за кілька років будуть відомі приблизні значення всіх важливих фізичних сталих, тож науковцям залишиться хіба що переносити результати вимірювань на інші місця після коми»¹³. Максвелл наголосив на тому, що справжньою винагородою за «важку працю ретельних вимірювань» є не більша точність, а «відкриття нових галузей досліджень» та «розвиток нових наукових ідей»¹⁴.

У 90-х роках XIX століття провідні німецькі фізики щосили намагалися розв'язати проблему, яка давно їх хвилювала: який зв'язок між температурою, діапазоном кольорів та інтенсивністю світла, що його випромінює розпечена залізна жердина? Ця проблема здавалася тривіальною порівняно з таємницею рентгенівських променів та радіоактивного випромінювання, через яку фізики поспішали до лабораторій, хапаючись за свої записники. Але для нації, що сформувалася лише в 1871 році, пошук рішення проблеми розпеченої залізної жердини (відомої як «проблема абсолютно чорного тіла») був тісно пов'язаний із прагненням забезпечити німецькій освітлювальній галузі конкурентну перевагу порівняно з британськими та американськими суперниками. Попри всі свої зусилля, найкращим німецьким фізикам так

і не вдалося розв'язати цю проблему. 1896-го науковцям здалося, ніби вони знайшли рішення, але всього за кілька років нові експерименти довели, що це не так. Проблему абсолютно чорного тіла розв'язав Макс Планк, за певну ціну. Такою ціною став квант.