

Передмова

Я наймудріший з усіх людей, бо знаю *тільки те*, що нічого я не знаю

Сократ

Я народився, не знаючи нічого, і мав тільки трохи часу, щоб змінити це хоч у деяких сферах

Річард Фейнман

Нещодавно мене попросили виступити в одній юридичній фірмі з доповіддю про квантові комп'ютери. Мене попередили, щоб під час підготовки виступу я орієнтувався на припущення, що моя аудиторія не дуже обізнана в науковій сфері. Тому я подумав: «Чи є якась *єдина річ*, яку варто знати, щоби зрозуміти суть квантових комп'ютерів? Одна річ, з якої випливає все інше?». Коли я готував презентацію, мені спало на думку, що я міг би точно так само спрощено описати безліч інших наукових концепцій. Я задумався про наш сучасний світ, де більшість людей перебуває в постійному цейтноті. Можна було б показати загалу, що в ядрі кожної навіть найважчої теми є певна ідея. І досить зрозуміти тільки цю *одну* ідею, а все інше потім випливає з неї як логічний наслідок. Це могло б стати незвичним і цікавим способом пояснити широкому загалові цілу низку специфічних наукових концепцій у компактній і легкій для сприйняття формі. Спеціальна теорія відносності Айнштейна є наслідком того факту, що промінь світла неможливо

наздогнати. У подібний спосіб багато чого у квантовій теорії є наслідком того надзвичайного факту, що висхідні будівельні блоки матерії (атоми та їхні складники) можуть поводитись і як локалізовані частинки, і як протягнені хвилі. Або візьмімо за приклад Стандартну модель фізики елементарних частинок, що є кульмінаційним моментом 400-річної історії фізики. Вона є результатом таємничої одержимості природи локальною калібрувальною симетрією (треба визнати, що це більше схоже на езотерику!). Звісно, не всі теми настільки ж ясно окреслені, як ця. У таких складних процесах, як еволюція та людський мозок, не все цілком впливає з однієї єдиної речі. Але, навіть зважаючи на це, я все одно намагався зробити все можливе, щоб надати широкій аудиторії загальне уявлення про двадцять одну тему: від глобального потепління до частинки Гіґґса, від електрики до Великого вибуху, від чорних дір до еволюції через природний добір. Сподіваюся, вам сподобається!

Маркус Чоун

1 Гравітація

Кожна частинка матерії діє силою притягання на будь-яку іншу частинку матерії

Я можу розрахувати рух небесних тіл, але не божевілля людей

Ісаак Ньютон

Гравітація — це «універсальна» сила тяжіння. Це означає, що вона діє між кожним окремо взятим шматочком матерії та кожним будь-яким іншим шматком матерії. Наприклад, сила гравітації наявна між вами й кимось, хто проходить повз вас на вулиці. Сила тяжіння є й між вами і монетами у вашій кишені. Однак ви ніколи не помітите вищезгаданих взаємодій неозброєним оком, тому що гравітація — це феноменально слабка сила. На перший погляд може здатися, що вона не така вже й слабка. Зрештою, важко підстрибнути більш ніж на метр угору, адже гравітація миттєво потягне вас донизу. Проте сила тяжіння є справді незначною. Потримайте руку горизонтально деякий час. Сила тяжіння всієї Землі, яка важить незліченні квадрильйони тонн, не здатна потягнути вашу руку вниз.

Попри свою фундаментальну слабкість, гравітація має властивість збільшуватися разом зі збільшенням кількості матерії. На відміну від природної електромагнітної сили, яка може і притягувати, і відштовхувати (тож у будь-якій нормальній матерії вона нівелюється), гравітація є тільки в одній формі: вона завжди притягує (див. Розділ 2 про електрику). Отже, ефект гравітації є кумулятивним: що більше матерії, то сильнішим стає гравітаційне тяжіння. Ось чому гравітація не відіграє помітної ролі,

якщо розглядати її в масштабі монет у вашій кишені або людей, що проходять повз вас на вулиці, але має вагоме значення для великих об'єктів, як-от планет, зірок, галактик і Всесвіту загалом.

По суті, можна вирахувати граничний розмір, за якого гравітація стає найбільш впливовою силою. Візьмімо до прикладу атом, що складається з позитивно зарядженого ядра, навколо якого «обертаються» негативно заряджені електрони (див. Розділ 8 про атоми). Саме сила відштовхування між електронами, що кружляють на зовнішніх орбітах сусідніх атомів, утримує їх на відстані один від одного й робить матерію щільною. У найпростішому атомі, атомі водню, який складається з одного протона й одного електрона на його орбіті, сила тяжіння між ними в 10^{40} (або 10 000 мільярдів мільярдів мільярдів мільярдів) разів слабша за електромагнітну силу. Отже, робимо висновок, що коли тіло містить понад 10^{40} атомів, то сила гравітації здатна здобути перевагу над електромагнітною силою.

Діаметр об'єкта з кам'янистої гірської породи, який містить у собі 10^{40} атомів, у такому разі становитиме близько 600 кілометрів. Діаметр об'єкта з льоду з такою самою кількістю атомів, але лід легше стиснути, становить близько 400 кілометрів.

Якби сила гравітаційного тяжіння була панівною, вона стиснула б усю матерію в найкомпактнішу форму, а саме — у сферу. Якщо йти за цією логікою, то можна припустити, що всі кам'янисті тіла в Сонячній системі, які в розрізі перевищують 600 кілометрів, будуть сферами, а всі менші — будуть за формою нагадувати картоплину. Для об'єкта з льоду відповідний поріг становить близько 400 кілометрів. Це припущення і справді підтверджується, якщо уважно подивитися на нашу Сонячну систему.

Першим поштовхом до вивчення сили гравітації було, як не дивно, дослідження магнетизму. У 1600 році англійський науковець Вільям Гілберт експериментував із природними магнетитами. Він виявив, що чим більша маса такого «шматка магнетиту», то більшою силою притягання він впливає на шматок

заліза. Також Гілберт продемонстрував, що це притягання є взаємним, тобто сила притягання, з якою магнетит діє на шматок заліза, дорівнює тій, з якою залізо діє на магнетит. З огляду на цей факт Гілберт припустив, що саме магнетизм може бути тією силою, яка тримає разом Сонячну систему.

Роберт Гук, найзапекліший суперник Ісаака Ньютона, був вражений відкриттями Гілберта. Однак він розумів, що та сила, яка утримує планети біля Сонця, не може бути магнетизмом, оскільки тіла під час нагрівання втрачають магнітні властивості, а Сонце, як тоді вже було добре відомо, є дуже гарячим об'єктом. Проте Гук розглядав магнетизм як модель сили, яка керує рухом тіл Сонячної системи. Подібно до магнетизму гравітація від однієї маси тягнеться через порожній простір і притягує іншу масу. Як і у випадку з магнетизмом, що більші маси залучено у процесі, то більша сила. Проте, як і у випадку з магнетизмом, ця сила є взаємною. Підказки до поведінки гравітації містяться в законах обертання планет, що їх відкрив Йоганн Кеплер¹. Між 1609 і 1619 роками німецький математик прискільки вивчав дані спостережень за планетами. Ці спостереження, хоч і зроблені, по суті, неозброєним оком, були дуже точні, їх провів данський астроном Тихо Браге, який вивчав небесні тіла у своїй обсерваторії на острові Гвен. Урешті-решт завдяки гігантським зусиллям і кропіткій праці Йоганн Кеплер вивів три закони, що керують поведінкою планет.

Другий закон Кеплера пояснює, що планета рухається швидше, коли вона ближче до Сонця, і повільніше, коли віддаляється від нього. Точніше, закон стверджує, що уявна лінія, яка з'єднує планету із Сонцем, покриває рівні площі за однаковий час. Ця площа пропорційна швидкості планети, помноженій на її відстань від Сонця. Сучасною мовою ця величина відома як орбітальний кутовий момент. Ньютон зрозумів, що ця величина є сталою, тільки якщо сила, яка діє на планету, спрямована лише до Сонця, а на шляху планети немає жодного іншого фактора впливу.

Задумайтеся на хвилю, наскільки екстраординарно це звучить. До Ньютона майже всі, хто коли-небудь аналізував рух планет, уявляли собі силу, яка начебто штовхає об'єкти по їхніх орбітах. Цією силою, можливо, були ангели, які пролітають поруч із планетами і здувають або підштовхують їх змахами крил. Однак Ньютон побачив підказку в другому законі Кеплера: жодна сила не рухає планети по їхніх орбітах. Натомість вони рухаються тільки завдяки своїй інерції: тенденції тіла, що рухається, до збереження швидкості руху. Це те, що Ньютон сформулював у своєму першому законі руху: «Тіло зберігає стан спокою або рівномірний і прямолінійний рух доти, доки цього стану не змінить якась, застосована до нього». (На Землі на будь-який об'єкт завжди діє якась сила, наприклад рух футбольного м'яча уповільнює сила тертя. Але за відсутності такої сили м'яч і далі рухався б по прямій лінії вічно). Завдяки гострому розуму Ньютон зміг точно визначити, як саме сила тяжіння, яка завжди є спрямованою до Сонця, впливає на траєкторію планети: вона постійно відхиляє її від природного прямолінійного шляху. І так вона навечно ув'язнює об'єкт на сонячній орбіті.

Тепер Ньютон мав визначити точний характер сили тяжіння: як вона змінюється залежно від відстані до такого масивного тіла, як, наприклад, Сонце. Він зміг зробити це завдяки припущенню, що гравітація є універсальною. Інакше кажучи: та сила, яка діє на планету, — це та сама сила, що діє на яблуко, яке падає з дерева.

Така пропозиція була радикальною і сміливою, тому що вона суперечила вченню Церкви про те, що небеса не тільки створені з іншої субстанції, ніж Земля, а й танцюють під мелодію інших законів. Але це припущення дало Ньютонові змогу безпосередньо порівняти силу земного тяжіння, що діє на падаюче яблуко, із силою тяжіння Землі, яка діє на Місяць. Знаючи точну відстань яблука від центру Землі й відстань Місяця від центру нашої планети, він міг визначити, як сила тяжіння змінюється залежно від відстані.

На перший погляд здається неможливим порівняти силу земного тяжіння на яблуко й Місяць, тому що яблуко падає, а Місяць — ні. Однак завдяки своїй геніальності Ньютон чітко розумів, що видимість може бути оманлива й Місяць насправді падає.

Ньютон уявив собі гармату, яка горизонтально вистрілює ядро. Коли воно летить у повітрі, його притягує донизу сила тяжіння, і тому воно падає на землю, пролетівши, припустімо, пів кілометра. Потім науковець уявив собі більшу гармату, яка вистрілює ядро ще швидше, з такою силою, що воно падає на землю, пролетівши, скажімо, п'ять кілометрів. Й ось нарешті він уявив собі супергармату, яка здатна вистрілити ядром зі швидкістю 18 000 кілометрів на годину. На цій величезній швидкості гарматне ядро падає на Землю так само стрімко, як земна поверхня пливе з-під нього внаслідок кривизни планети. Тому воно так і не вдаряється об землю! Насправді ж воно вічно падає по колу. Наш природний супутник, Місяць, робить саме це. Вірите ви чи ні, але він падає на землю, так само як і яблуко падає з дерева. Дивовижно, але відповідь на запитання «Чому ж Місяць і навколоземні супутники не падають?» полягає в тому, що в реальності вони справді падають. Просто вони ніколи не досягають земної поверхні.

Ньютон оцінив прискорення яблука, підрахувавши час його падіння. А прискорення Місяця він вираховував завдяки тому, наскільки далеко той пролетів до Землі за цей самий проміжок часу. Фізик порівняв їх і, знаючи відстань як яблука, так і Місяця до центру Землі, зробив висновок, що гравітація слабшає за законом обернених квадратів. Інакше кажучи: якщо два масивних тіла віддаляються одне від одного на вдвічі більшу відстань, то сила тяжіння між ними слабшає вчетверо; якщо ж вони збільшують відстань між собою втричі, то гравітаційна сила між ними слабшає вдев'ятеро, і далі за аналогією.

Далі Ньютон продемонстрував, що планета, на яку діє спрямований від центру гравітаційний закон обернених квадратів,