

Ключові поняття квантової фізики, які повинен знати кожен

є кілька ключових понять з неї, які необхідно утримувати в розумі, щоб простіше зрозуміти квантову механіку. Ні, вони мало пов'язані з квантовими явищами. І це не уявні експерименти.

1. Все складається з хвиль і частинок

Хвилі і частки складають основу всього.

Описувати реальні об'єкти як **частки і хвилі одночасно** буде **кілька неточним**. Власне кажучи, об'єкти, що описуються квантовою фізикою, не є частинками і хвилями, а скоріше належать до третьої категорії, яка успадковує властивості хвиль і деякі властивості частинок.

Це призводить до жвавих дебатів у фізичному співтоваристві на тему того, чи буде взагалі коректно говорити про світло як про частку; не тому, що є протиріччя в тому, чи володіє світло природою частинок, а тому, що називати фотони «частинками», а не «збудження квантового поля» - значить, вводити студентів в оману. Втім, це стосується і того, чи можна називати електрони частинками, але такі суперечки залишаються в колах суто академічних.

Ця «третя» природа квантових об'єктів відображається в мові фізиків, які обговорюють квантові явища. Бозон Хіггса був виявлений на Великому адронному колайдері в якості частинки, але ви напевно чули словосполучення «поле Хіггса», такий делокалізований речі, яка заповнює весь простір.

Це відбувається, оскільки при певних умовах на зразок експериментів із зіткненням частинок більш доречно обговорювати збудження поля Хіггса, ніж визначати характеристики частинки, тоді як при інших умовах на зразок загальних обговорень того, чому у певних частинок є маса, більш доречно обговорювати фізику в термінах взаємодії з квантовим полем вселенських масштабів. *Це просто різні мови, що описують одні й ті ж математичні об'єкти.*

Бозон Хіггса – це така елементарна частинка, яка була передбачена теоретично ще в 1964 році Пітер Хіггс.

Стандартна модель – одна з основних сучасних моделей опису світу. Вона описує взаємодію елементарних частинок. Як ми знаємо, в світі є 4 фундаментальних взаємодії: гравітаційна, сильна, слабка і електромагнітна. Гравітаційну ми відразу не розглядаємо, тому що вона має іншу природу і не входить в модель. А ось сильна, слабка і електромагнітна взаємодії описуються в рамках стандартної моделі. Причому, згідно з цією теорією речовина складається з 12 фундаментальних елементарних частинок-**ферміонів**. **Бозони** ж є переносниками взаємодій.

Так ось, з усіх частинок, передбачених в рамках стандартної моделі, які не виявлені експериментально залишався бозон Хіггса. Згідно зі Стандартною моделлю цей бозон, будучи квантом поля Хіггса, відповідає за

те, що у елементарних частинок є маса. Уявімо, що частинки – це більярдні кулі, вміщені на сукно столу. В даному випадку сукно – це і є поле Хіггса, що забезпечує масу частинок.

Як шукали бозон Хіггса?

На питання, коли відкрили бозон Хіггса, не можна відповісти точно. Адже теоретично його передбачили в 1964 році, а підтвердили існування експериментально тільки в 2012. І весь цей час невловимий бозон шукали! Шукали довго і наполегливо. До БАК в ЦЕРНі працював інший прискорювач, електрон-позитронний колайдер. Також був Теватрон в Іллінойсі, але і його потужностей не вистачило для виконання завдання, хоча експерименти, звичайно ж, дали певні результати.

Справа в тому, що бозон Хіггса – частинка важка, і виявити його дуже непросто. Суть експерименту проста, складна реалізація та інтерпретація результатів. Беруться два протона на швидкості світла і стикаються лоб в лоб. Протони, що складаються з кварків і антикварків, від такого потужного зіткнення розвалюються і з'являється безліч вторинних частинок. Саме серед них і шукали бозон Хіггса.

Проблема ще й у тому, що підтвердити існування цього бозона можна лише опосередковано. Період, в який існує бозон Хіггса, вкрай малий, як і відстань між точками зникнення і виникнення. Виміряти такі час і відстань напряму неможливо. Зате Хіггс не зникає безслідно, і його можна обчислити за «продуктам розпаду».

Хоча такий пошук дуже схожий на пошук голки в копиці сіна. Справа в тому, що бозон Хіггса розпадається з різною ймовірністю на різні "набори" частинок. Це може бути пара кварк-антикварк, найпотужніші лептони, тау-частинки. В одних випадках ці розпади вкрай важко відрізнити від розпадів інших частинок, а не саме Хіггса. В інших – неможливо достовірно зафіксувати детекторами.

Найкраще фіксується детекторами перетворення Хіггса в чотири лептона. Однак ймовірність цієї події дуже мала – всього 0,013%.

Проте, за півроку експериментів, коли за одну секунду в колайдері відбуваються сотні мільйонів зіткнень протонів, було виявлено цілих 5 таких чотирьохлептонних випадків. Причому зафіксовані вони були на двох різних детекторах-гігантах: ATLAS і CMS. Згідно незалежного розрахунку з даними одного й іншого детектора, маса частинки становила приблизно 125 GeV, що відповідає теоретичному передбаченню для бозона Хіггса.

Для повного і точного підтвердження того, що виявлена частинка була саме бозоном Хіггса, довелося провести ще дуже багато дослідів. І незважаючи на те, що зараз бозон Хіггса виявлений, експерименти в ряді випадків розходяться з теорією, так що **Стандартна модель**, як вважають багато вчених, швидше за все є частиною більш досконалої теорії, яку ще належить відкрити.

2. Дискретність квантової фізики

Дискретність квантової фізики ускладнює її.

відображає той факт, що квантові моделі завжди включають щось, що приходить в дискретних величинах. Енергія, що міститься в квантовому полі, приходить в кратних величинах якоїсь фундаментальної енергії. Для світла це асоціюється з частотою і довжиною хвилі світла – високочастотне світло з короткою хвилею володіє величезною характерною енергією, тоді як низькочастотне світло з довгою хвилею володіє невеликою характерною енергією.

Ця властивість також спостерігається в дискретних енергетичних рівнях атомів, і енергетичні зони конкретні – деякі величини енергій допускаються, інші ні.

Атомний годинник працює завдяки дискретності квантової фізики, використовуючи частоту світла, пов'язаного з переходом між двома дозволеними станами в цезії, яка дозволяє зберегти час на рівні, необхідному для здійснення «другого стрибка».

Ідею створення надточного хронометра на основі коливання частинок водню в 1879 році запропонував англійський фізик Вільям Томсон. Але реалізувати цей задум на практиці і винайти перший атомний годинник з використанням частинок цезію-133 вдалося лише в 1955 році британцеві Луї Ессен.

Пристрій розміром с великий холодильник отримав назву NBS-1, а показання роботи його механізму лягли в основу визначення секунди в межах міжнародної системи одиниць вимірювання СІ. З тих пір секунда – це проміжок часу, за який атом цезію-133 ($Cs-133$) під впливом мікрохвиль робить 9 192 631 770 енергетичних переходів.

Будь який годинниковий механізм, який здатний вимірювати секунди, має два компоненти:

- фізична дія, яка може повторюватися незмінну кількість разів в секунду;
- лічильник, який фіксує необхідну кількість дій і передає сигнал про закінчення часового періоду.

Наприклад, у кварцових годинниках фізичні дії відбуваються в кристалі кварцу встановленого розміру. Стискаючись і розширюючись під впливом електричного струму з конкретною частотою в 32 768 Гц, кристал здійснює необхідну кількість коливань, яке фіксує лічильник і подає сигнал для повороту стрілки рівно на 1 секунду.

В атомних годинниках електрони в атомах під впливом мікрохвильового поля змінюють рівень енергії, а лічильник фіксує кількість таких енергетичних переходів в одиницю часу. Принцип в цілому той же, але ось точність зовсім інша:

- похибка кварцового годинника становить ± 15 секунд в місяць;
- цезієвий атомний годинник спотворює час на 1 секунду в 138 млн років.

ЯК НАДТОЧНИЙ ГОДИННИК ВІДМІРЯЄ ЧАС?

Пристрій для вимірювання тривалості секунди в атомному механізмі включає:

- вакуумну камеру; кварцовий генератор, який створює мікрохвилі;
- детектор, регулюючий частоту генератора;
- декілька тунелей для атомів цезія; хлорид цезія (дискримінатор);
- магнітний фільтр.

Перед тим, як пройти в тунелі, хлорид цезію підлягає нагріванню. В результаті нагрівання утворюється газовий потік з іонами цезію для проходження через магнітний фільтр. Магнітне поле виділяє атоми з низькою кількістю енергії і направляє їх далі в камеру, де під впливом мікрохвиль кварцового генератора вони почнуть змінювати енергетичний стан з частотою 9 192 631 770 циклів в секунду.

Якщо кількість змінених атомів цезію досягає максимуму, то детектор сигналізує, що частота мікрохвильового поля кварцового генератора підібрана правильно. У тому випадку, якщо їх кількість, що фіксується детектором, не досягає максимуму, то кварцовий генератор регулює частоту до 9 192 631 770 Гц.

Щоб цикл повторювався безперервно, кварцовим генератором необхідна електрика. У механізмі її виробляє детектор з високоенергетичних атомів.

Завдяки замкнутому колу всіх процесів і унікальним властивостям цезію, найменші частинки якого не зношуються, роблячи немислиму кількість переходів з одного енергетичного рівня на інший за одну лише секунду, механізм, створений на його основі, й до сих пір залишається найточнішим і найстабільнішим на нашій планеті.

З моменту винаходу перших атомних годинників, багато експериментували з їх дискримінатором, підбираючи атоми інших елементів в спробах його удосконалення. Однак прийшли до висновку, що використовувати можна лише ті, які не чутливі до зовнішніх магнітних і електричних впливів.

Серед найбільш підходящих для такої ролі: атоми цезію, стронцію, рубідію; молекули метану, водню, йоду і оксиду осмію.

У 2006 році команда американських дослідників під керівництвом Джима Бергквіст представила суспільству годинник, що працює на атомі ртуті. Під час енергетичних переходів іонів ртуті відбувається утворення фотонів видимого діапазону, стабільність яких в 5 разів вище, ніж при випромінюванні цезію.

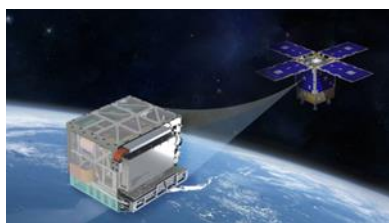
Ще через 4 роки, в 2010, фізикам американського інституту NIST вдалося запустити квантово-логічний годинник, що працює на дублетах ртуті. Як генератор в них використовується не випромінювання кварцового генератора, а лазерне світло ультрафіолетового діапазону, яке призводить

атоми ртуті до квантових змін. Похибка такого механізму складає 1 секунду в 15 млрд років.

2013 рік у сфері технологій ознаменувався виходом першого наручного атомного годинника виробництва Bathys Hawaii. В основі його роботи лежить розробка атомного чіпа американською компанією Symmetricom. Його похибка становить 1 секунду в тисячу років.

У 2017 році вченим з NIST вдалося використати в годиннику тривимірну решітку, що складається з трьох тисяч атомів стронцію. Дослідження показали, що при збільшенні кількості найменших частинок в решітці збільшується і точність часу. Але, незважаючи на ці новітні розробки, цезієвий атомний годинник з кварцовим генератором усередині і по сей день залишаються основою для вимірювання часу.

ДЛЯ ЧОГО ПОТРІБНІ АТОМНІ ГОДИННИКИ?



Більш стабільного механізму, ніж атомний, в сучасному світі технологій не існує. Навіть всім відома точність швейцарських годинників без найменших сумнівів їм поступається.

З огляду на те, що на коливання атомних частинок не впливають ні температурні показники, ні вологість, ні вібрації, ні багато інших умов зовнішнього середовища, атомні механізми стали незамінними помічниками людини в багатьох сферах діяльності:

- вони відповідають за точність часу, одержуваного з базових станцій мобільного зв'язку та інших сервісів для годинникової синхронізації;
- тільки завдяки атомним годинникам можлива робота навігаційної системи GPS, яка визначає відстань за часом, необхідним для прийому сигналу з орбіти;
- з їх допомогою визначають місцезнаходження супутників, ракет, космічних кораблів, підводних човнів і літаків.

Дослідження космосу просто немислимо без точного хронометра. Більшість сучасних космічних станцій для навігації використовує взаємодію наземних антен з атомним годинником. Антени посиляють специфічний сигнал на космічний корабель, який його повертає назад. Часовий діапазон між відправленням і отриманням сигналу служить для визначення розташування, швидкості і траєкторії космічного апарату. Оскільки сигнал передається зі швидкістю світла, для точності отриманих даних важливо враховувати різницю в часі до наносекунд.

Для забезпечення точним бортовим хронометром своїх майбутніх місій NASA в даний час тестує нову розробку – атомний годинник для використання в глибокому космосі (DSAC). На борту вони допоможуть космонавтам самостійно відстежувати своє розташування, не втрачаючи час на двосторонні сигнали з Землею в очікуванні відповіді про їх результат.

Космічному кораблю з DSAC на борту достатньо буде одностороннього сигналу з наземної станції.

В окремо взятої людини немає особливої потреби в такій високій точності для використання в побуті. Адже з огляду на навіть найбільшу тривалість людського життя, похибка такого годинника буде дорівнює майже нулю, а вартість годинника сягає понад 10 тисяч доларів.

Для тих, кому все ж важлива точність атомного механізму, виробники годинників розробили моделі з радіосинхронізацією. В них вбудована антена, здатна приймати сигнали з шести радіостанцій, розташованих в Північній Америці та Євразії, а вони, в свою чергу, синхронізуються з часом UTC (за Гринвічем), точність якого контролюється атомним годинником.

3. Квантова фізика є ймовірнісною

Однією з основ квантової фізики є її ймовірнісність.

Одним з **найдивовижніших і суперечливих аспектів квантової фізики** є те, що неможливо з упевненістю передбачити результат одного експерименту з квантової системою.

Коли фізики пророкують результат певного експерименту, їх передбачення носить форму ймовірності знаходження кожного з конкретних можливих результатів, а порівняння між теорією і експериментом завжди включають виведення розподілу ймовірностей з багатьох повторних експериментів.

Математичний опис квантової системи, як правило, приймає форму «хвильової функції», представленої в рівняннях грецької буквою Ψ . Ведеться багато дискусій про те, що конкретно являє собою хвильова функція, і вони розділили фізиків на два табори: тих, хто бачить в хвильовій функції реальну фізичну річ (онтичні теоретики), і тих, хто вважає, що хвильова функція є виключно виразом нашого знання (або його відсутності) незалежно від лежачого нижче стану окремого квантового об'єкта (епістемічні теоретики).

У кожному класі основоположною моделі **ймовірність знаходження результату визначається не хвильовою функцією безпосередньо, а квадратом хвильової функції** (грубо кажучи, все їй же);

Це відомо як правило Борна в честь німецького фізика Макса Борна, який вперше його обчислив (у виносці до роботи 1926 року) і здивував багатьох людей потворним його втіленням. Ведуться активні роботи в спробах вивести правило Борна з більш фундаментального принципу; але поки жодна з них не була успішною, хоча і породила багато цікавого для науки.

Цей аспект теорії також приводить нас до частинок, які перебувають в безлічі станів одночасно.

Якщо хто не знає, що це за **кіт Шредінгера**, нагадаємо легенду. Згідно Копенгагенської інтерпретації квантової механіки, фізичний об'єкт (на зразок атома) не має певних властивостей, поки ми не проводимо його вимірювання. У відповідь на це фізик Ервін Шредінгер у 1935 році запропонував уявний експеримент. Він припустив, що якщо така інтерпретація вірна, ми могли б помістити радіоактивну речовину в невеликий контейнер поряд з лічильником Гейгера, зв'язати лічильник з молотком і помістити молоток над капсулою з кислотою, щоб той розчавив її в момент розпаду атома.

Якщо все це засунути в ящик з котом, ми не зможемо виміряти властивості атома, тому що, наскільки ми знаємо, атом одночасно розпався і не розпався (на те він і піврозпад). Як наслідок, кіт буде і живий і мертвий одночасно, поки ми не заглянемо всередину.

У 1974 році вчені задалися питанням: чи залежить тривалість життя нестабільної системи від вимірювального пристрою?

Цей парадокс став відомий як квантовий ефект Зенона: що станеться, якщо ми будемо безперервно спостерігати за нестабільним атомом? Чи розпадеться він?

Згідно ефекту Зенона, при постійному спостереженні він ніколи не випустить жодної частинки випромінювання. У 1989 році це було вперше продемонстровано в експерименті, проведеному Національним інститутом стандартів і технологій США, і дивна гіпотеза стала дивною реальністю.

Вже через десять років був запропонований протилежний ефект Зенона – ефект Антізенона. Часте вимір радіоактивного атомного ядра може прискорити його розпад, в залежності від процесу.

Залишилося тільки зрозуміти, що таке «вимір».

Щоб виміряти щось на зразок радіоактивного атома, провести спостереження над ним і вважати його параметри і властивості, з ним потрібно якось взаємодіяти, щоб інформація вийшла назовні в якомусь вигляді. В процесі цього безліч можливостей атома схлопуються в єдиний результат, який ми і бачимо. Але чи є це схлопування причиною ефекту Зенона? Або чи можна прискорити або сповільнити розпад атома, не приводячи до його схлопування в абсолютний стан?

Зенон проти Антізенона

Все це повертає нас до експерименту, проведеного Вашингтонським університетом.

Щоб визначити, чи буде передача інформації форсувати ефект Зенона або Антізенона, вчені використовували пристрій, який багато в чому поводить як атом з безліччю енергетичних станів.

Вся справа в виявленому попереджуючому знаку для квантових переходів, які колись вважалися миттєвими і непередбачуваними.

Вчені використовували штучний атом, щоб показати можливість збереження кота Шредінгера в живому стані протягом невизначеного терміну, а також прискорення настання його смерті. Для того і цього навіть

не потрібно заглядати в ящик, в якому цей самий кіт зазвичай сидить (або не сидить).

В лабораторних умовах провели експеримент на штучному атомі та передбачили вид **атомної поведінки, що зветься квантовим стрибком,**

Штучні атоми називають **кубітами**. Вони застосовуються в якості основних одиниць інформації в квантовому комп'ютері. При кожному вимірі кубіта він виконує квантовий стрибок, але ці скачки непередбачувані, а всі спроби побудувати квантові обчислення вкрай проблематичні. У спробах врятувати кота Шредінгера, команда з Єльського університету розробила експеримент для непрямого спостереження надпровідного кубіта.

Для проведення експерименту вчені підготували спеціальну установку, що включає три мікрохвильових генератора для опромінення кубіта, які перебували в герметичному тривимірному корпусі з алюмінію. В ході дослідження фізики використовували два спеціально налаштованих мікрохвильових сигнали. Один промінь мікрохвильового світла давав енергію для квантового стрибка, а інший дозволяв вченим стежити за ситуацією.

Щоб переконатися, що саме спостереження або втручання виявилось ключовим, вчені зробили так званий квазівимір, який створює перешкоди, не приводячи до колапсу атомного стану. Яким буде результат, не знав ніхто.

«Але дані, які збираються цілими днями, послідовно показували, що квазівиміри приводили до ефектів Зенона так само, як і звичайні вимірювання», говорить Мерч.

Отже, саме порушення в процесі вимірювання, а не саме безпосереднє вимірювання призводить до появи ефектів Зенона і Антізенона.

Виявити квантові стрибки вдалося коли «атом» збуджувався або втрачав енергію.

Що ж все це означає для бідного кота Шредінгера?

«Ефект Зенона говорить, що якщо ми перевіримо кота, ми обнулим годинник розпаду атома і збережемо життя коту», говорить вчений Патрік Харрінгтон.

якщо перевірити кота, то обнулиться час розпаду атома і збережеться життя кота; те ж саме буде, якщо просто струснути коробку

Зазначу, що у звичайних атомах «стани» представлені розташуванням електрона навколо ядра атома, але в цьому штучному атомі стан представлено квантованою властивістю, значення якої змінюється в міру проходження електронами огорожі коробка з алюмінію. Технічно ця квантова система – двокубітні квантовий комп'ютер, з тими ж принципами, що і інші квантові системи, включаючи електрони навколо атомів.

вчені не можуть передбачити точний день і час переходу стану атома.

Але цей рівень передбачення може бути корисний для квантових комп'ютерів. Технологія, заснована на цьому експерименті, може дозволити дослідникам квантових обчислень ідентифікувати помилки прямо в міру їх виникнення.

Квантові комп'ютери. Чому їх ще немає, хоча вони вже є?

те, над чим працюють IBM, Google, Rigetti Computing та інші компанії.

У січня 2019 на CES в рамках ініціативи IBM Q показали System One (див. вище): осліплюючи, витончену і схожу на люстру машину, яка стала першою інтегрованою універсальною системою квантових обчислень для комерційного використання, з якою міг пограти кожен.

Про потенціал квантових комп'ютерів чув, напевно, кожен: властивості квантової фізики відкривають масивно паралельні схеми обчислень, які, ймовірно, забезпечать величезні скачки обчислювальної потужності і випередять будь-які транзисторні суперкомп'ютери, з якими ми можемо зіткнутися – сьогодні та завтра. Вони зроблять революцію в галузі хімії, фармацевтики, матеріалознавства і машинного навчання.

Але що саме робить квантові комп'ютери такими потужними? Давайте розбиратися.

Що таке кубіти?

Для початку згадаємо, як працюють квантові комп'ютери.

Секрет їх майстерності в тому, що вони маніпулюють кубітами. Все, що обробляє класичний комп'ютер – текст, зображення, відео і так далі – складається з довгих рядків нулів і одиниць, або бітів. За своєю суттю біт представляє один стан з двох: вкл/викл, або підключений електричний ланцюг, або ні. У сучасних комп'ютерах біт зазвичай представлений електричною напругою або імпульсом струму.

Квантові комп'ютери, навпаки, покладаються на кубіти. Кубіти, як правило, є надпровідниками електронів або інших субатомних частинок, що є складною науковою й інженерною задачею. IBM, наприклад, використовує кілька шарів надпровідних ланцюгів, які знаходяться в контрольованому середовищі та поступово охолоджуються до температур, які нижче, ніж глибокий космос – близько абсолютного нуля.

Оскільки кубіти мешкають в квантовій реальності, у них є дивовижні *квантові властивості*.

Суперпозиція, запутаність й інтерференція

Якщо біт уявити як монету з орлом (0) або решкою (1), кубіти будуть представлені монетою, що обертається: в певному сенсі, вони одночасно і орли, і решки, причому кожний стан має певну ймовірність. Вчені використовують калібровані мікрохвильові імпульси, щоб поміщати кубіти в

суперпозицію; точно так же інші частоти та тривалість цих імпульсів може перевертати кубіт так, щоб він знаходився трохи в іншому стані (але все ще в суперпозиції).

Через суперпозиції окремих кубіт може представляти набагато більше інформації, ніж двійковий біт. Частково це відбувається через те, що при початковому введенні кубіти можуть перебирати методом грубої сили величезне число можливих результатів одночасно. Остаточна відповідь з'являється лише коли вчені вимірюють кубіти – так само, використовуючи мікрохвильові сигнали – що змушує їх «колапсувати» в двійковий стан. Найчастіше вченим доводиться проводити розрахунки кілька разів, щоб перевірити відповідь.

Заплутаність – ще більш приголомшлива штука. Застосування мікрохвильових імпульсів на пару кубітів може заплутати їх так, що вони завжди будуть існувати в одному квантовому стані. Це дозволяє вченим маніпулювати парами заплутаних кубітів, просто змінюючи стан одного з них, навіть якщо вони фізично розділені великою відстанню, звідси і «моторшна дія на відстані». Через передбачувану природу заплутаності, додавання кубітів експоненціально збільшує обчислювальну потужність квантового комп'ютера.

Інтерференція – остання з властивостей, які реалізують квантові алгоритми. Уявіть собі котяться хвилі: іноді вони підганяють один одного (діють конструктивно), іноді гасять (деструктивно). Використання інтерференції дозволяє вченим контролювати стани, посилюючи тип сигналів, що призводять до правильної відповіді, та скасовуючи ті, які видають невірні відповіді.

Як програмуються квантові комп'ютери?

Основна мета полягає в тому, *щоб закодувати частини завдання в складний квантовий стан, використовуючи кубіти, і потім маніпулювати цим станом, щоб привести його до якогось рішення, яке можна буде виміряти після колапсу суперпозицій в детерміновані послідовності нулів (0) і одиниць (1).*

Звучить складно, але оскільки всі терміни ми вже розібрали, зрозуміти можна.

Як і у випадку з класичним програмуванням, вчені розробляють мови асемблера низького рівня, які машина розуміє краще, щоб перейти від них до мов високого рівня та графічним інтерфейсам, більш відповідним для людського розуму.

Декогеренція

Чому ж квантові комп'ютери ще не продаються на кожному розі? У певному сенсі, вчені намагаються побудувати досконалі машини з недосконалих частин. Квантові комп'ютери надзвичайно чутливі до збурень, шуму й інших впливів навколишнього середовища, які змушують їх квантовий стан коливатися та зникати. Цей ефект називається декогеренцією.

Для деяких експертів декогеренція – це проблема, яка стримує квантові обчислення. Навіть при всіх дотриманих заходах шум може просочитися в розрахунки. Вчені можуть зберігати квантову інформацію до тих пір, поки вона не втратить свою цілісність під впливом декогеренції, що обмежує число обчислень, які можна виробляти поспіль.

Делікатна природа квантових обчислень також є причиною того, що сліпе додавання кубітів в систему не обов'язково зробить її потужнішою. Відмовостійкість ретельно досліджується в області квантових обчислень: за логікою, додавання кубітів може компенсувати деякі проблеми, але для створення єдиного, надійного кубіта для перенесення даних будуть потрібні мільйони коригуючих помилок кубітів. А у нас їх сьогодні не більше 128. Можливо допоможуть розумні алгоритми, які також розробляються.

Імітація квантового за допомогою квантових комп'ютерів

Оскільки великі дані зараз гаряча тема, можна було б очікувати, що квантові комп'ютери будуть краще обробляти великі набори даних, ніж класичні. Але це не так.

Замість цього, квантові комп'ютери будуть особливо *гарні в моделюванні природи*. Наприклад, квантові обчислення можна було б *використовувати для більш ефективної побудови молекул ліків*.

Завдяки заплутаності, кубіти, фізичні розділені великою відстанню, можуть створити канал для передачі інформації, який з наукової точки зору буде безпечніше наших існуючих каналів. Квантовий інтернет цілком здійснимо.

Але найцікавіше ось що: ми навіть не знаємо всієї різноманітності дивовижних питань, які можуть спробувати вирішити квантові комп'ютери. Просто маючи комерційний квантовий комп'ютер і дозволяючи людям з ним працювати, ми могли б намітити нові цікаві області.

4. Нелокальність досліджень

Назвати квантову фізику локальною язик не повертається.

Останній великий внесок Ейнштейна в фізику не був широко визнаний як такий, в основному тому, що він помилявся. У роботі 1935 року, разом з його молодими колегами Борисом Подолько та Натаном Розеном (робота ЕПР), Ейнштейн привів чітку математичну заяву чогось, що турбувало його вже деякий час, того, що ми називаємо «заплутаністю».

Робота ЕПР стверджувала, що квантова фізика визнала існування систем, в яких вимірювання, зроблені в широко віддалених місцях, можуть корелювати так, щоб результат одного визначав інше. Вони стверджували, що це означає, що результати вимірювань повинні бути визначені заздалегідь, будь-яким загальним фактором, оскільки в іншому випадку потрібна була б передача результату одного виміру до місця проведення іншого зі швидкістю, що перевищує швидкість світла. Отже, квантова фізика

повинна бути неповною, бути наближенням глибшої теорії (теорії «прихованої локальної змінної», в якій результати окремих вимірів не залежать від чогось, що знаходиться далі від місця проведення вимірювань, ніж може покрити сигнал, який мандрує зі швидкістю світла (локально), а скоріше визначається якимось чинником, загальним для обох систем у заплутаній парі (схована змінна).

Експериментально це перевірили в 70-х роках Джон Клозер і Аллен Аспект на початку 80-х – вони показали, що ці заплутані системи не можуть бути потенційно пояснені ніякою теорією локальної прихованої змінної.

Найбільш поширений підхід до розуміння цього результату полягає в припущенні, що квантова механіка нелокальна: що результати вимірювань, виконаних в певному місці, можуть залежати від властивостей віддаленого об'єкта так, що це не можна пояснити з використанням сигналів, що рухаються зі швидкістю світла. Це, втім, не дозволяє **передавати інформацію з надсвітловою швидкістю**, хоча було проведено безліч спроб обійти це обмеження за допомогою квантової нелокальності.

5. Вивчення квантових частинок

Квантова фізика не працює з великими частками.

Це означає, що квантові явища здебільшого обмежені масштабами атомів і фундаментальних частинок, маси і прискорення яких досить малі, щоб довжина хвилі залишалася настільки малою, що її не можна було б спостерігати прямо. Втім, прикладається маса зусиль, щоб збільшити розмір системи, яка демонструє квантові ефекти.

Прорив у фізиці. Вчені вперше досягли надпровідності за кімнатної температури

У США була досягнута нова важлива віха у вивченні надпровідності: фізики досягли протікання електричного струму без опору за кімнатної температури – +15 градусів за Цельсієм.

Це побило попередній рекорд – -23 градуси за Цельсієм,

Надпровідність була вперше відкрита в 1911 році, і відтоді це явище та його застосування стало метою багатьох фізиків.

Надпровідність складається з двох основних властивостей. Перша – нульовий опір. Друга – це ефект Мейснера, при якому магнітні поля надпровідного матеріалу видаляються. Це змушує силові лінії магнітного поля переміщатися навколо матеріалу. Якщо над надпровідним матеріалом помістити невеликий постійний магніт, сила відштовхування цих силових ліній магнітного поля змусить його левітувати.

Потенційні застосування надпровідності можуть спричинити революційні зміни в нашому світі – від транспорту на магнітній підвісці до передачі даних і електричних мереж без втрат.

Але є велика проблема. Надпровідні матеріали зазвичай створюються і зберігаються тільки за надзвичайно низьких температур, набагато нижчих за

ті, які зустрічаються в природі. Зберігати матеріали за цих температур складно і дорого.

Принципово новий тип високотемпературних надпровідників був відкритий в середині 2010-х років: виявилось, що при екстремально високих тисках – понад 1 мільйон атмосфер – гідриди багатьох елементів залишаються в надпровідному стані до дуже високих температур. Так, кілька років матеріалом з найвищою критичною температурою був сірководень складу H_3S , а рекорд переходу належав гідриду лантану LaH_{10} .

Група фізиків на чолі з Еліотом Снайдером з Університету Рочестера спробувала об'єднати водень з ітрієм, щоб створити супергідрид ітрію. Цей матеріал продемонстрував надпровідність при -11 градусах за Цельсієм під тиском 180 гігапаскалів.

Потім Снайдер і його команда спробували об'єднати вуглець, сірку і водень для створення вуглець гідриду сірки. Вони затиснули крихітний зразок в алмазному ковадлі і виміряли його на надпровідність. І вони знайшли її при 270 гігапаскалів і 15 градусах Цельсія.

Очевидно, що до застосування технології у звичайному житті ще далеко. Розміри зразків були мікроскопічними, від 25 до 35 мікронів, а тиск, при якому виникала надпровідність, все ще був непрактично великим.

Наступним кроком у дослідженні буде спроба знизити необхідний високий тиск за рахунок хімічного складу зразка. Дослідники вважають, що якщо їм вдасться правильно приготувати суміш, надпровідник, що працює за кімнатної температури й тиску навколишнього середовища, нарешті буде в наших руках.