

◀ Доктор Айзек Чанг загружает в аппарат ядерного магнитного резонанса колбу с квантовым компьютером, состоящим из семи q-бит

Квантовый компьютер

# Вычисления со скоростью света

Новая технология открывает такие перспективы, от которых просто захватывает дух: для нового компьютера будет достаточно всего 50 атомов, и он будет мощнее всех нынешних компьютеров нашей планеты.

В лаборатории повисла напряженная тишина, нарушаемая лишь легким гулом приборов. Ловушка подготовлена, и теперь ученые из института квантовой оптики имени Макса Планка, который находится в баварском городке Гархинг, ждут «добычу». На поверхности, равной примерно размеру

двух теннисных столов, располагаются линзы, концентраторы, распределители и отклоняющие устройства, которые соединены сетью из лазерных лучей. «Сердцем» всей этой таинственной системы является так называемая ионная ловушка. С ее помощью группа исследователей во главе с профес- »

» сором Вальтером из лаборатории лазерной физики хочет изолировать отдельные атомы и сгруппировать их в систему, способную выполнять вычисления.

В связи с тем, что вся работа по отлову «неприрученных» атомов и созданию из них вычислительного узла связана с огромными расходами, возникает закономерный вопрос: а для чего это нужно? Ведь даже обычный домашний компьютер считает достаточно быстро. Конечно, говорят ученые, для проведения расчетов, например, в Excel мощности ПК вполне достаточно. А если речь идет о расшифровке кода с ключом в 266 бит? Тогда придется «немного» подождать ответа. Ведь количество возможных комбинаций, содержащихся в таком ключе, больше, чем количество атомов во всей Вселенной, и даже самому быстрому суперкомпьютеру на решение этой задачи путем перебора вариантов потребуется более 14 миллиардов лет. Для сравнения скажем, что это больше, чем существует наша Вселенная. А вот квантовый компьютер, состоящий всего из нескольких атомов, мог бы решить эту задачу буквально за несколько минут.

### Двойственность — это сила квантов

Чтобы описать принцип работы квантового компьютера, нужно погрузиться в пучины квантовой физики, которую человеческое сознание воспринимает с большим трудом. Отдельный атом ведет себя внешне вполне пристойно. Например, при соответствующем возбуждении он переходит на более высокий энергетический уровень. Если новое его состояние считать за 1, а состояние низкого энергетического уровня за 0, мы получим атомарный эквивалент минимальной единицы информации обычного компьютера. Однако не все так просто: если бит означает строго определенное значение (или 1, или 0), то атом создает так называемый «квантовый бит» (или q-бит). Свое состояние q-бит выдает лишь в том случае, если его спрашивают извне. Между тем он находится в таком трудно доступном человеческому пониманию состоянии, которое можно назвать «и ноль, и единица в одно и то же время». Лучше всего это состояние можно сравнить с вращающейся монетой, когда перед вами попеременно оказывается то «орел», то «решка». И только если по монете хлопнуть рукой, можно

узнать, что перед нами находится в данный момент времени. В случае с атомом «хлопок по монете» означает запрос на результат вычисления. Какой огромный потенциал несет в себе эта двойственность q-битов, будет видно, если к одному атому добавить второй.

Тогда «дуэт» этих атомов будет в состоянии одновременно принимать четыре значения: 0 и 0, 1 и 0, 0 и 1, 1 и 1. Три атома дадут уже восемь состояний, четыре — шестнадцать, а n атомов — два в степени n. Таким образом, компьютер всего из 50 атомов будет иметь большую вычислительную мощность, чем все компьютеры Земли вместе взятые. Такова теория, а на практике ученые стоят перед проблемой, каким образом изолировать атомы, соединить их вместе, научиться по отдельности их возбуждать и, наконец, каким образом получать от них результат вычислений. Как раз последний пункт и является самым сложным. Ведь если квантовый компьютер способен представить одновременно все результаты, то как среди них отыскать правильный?

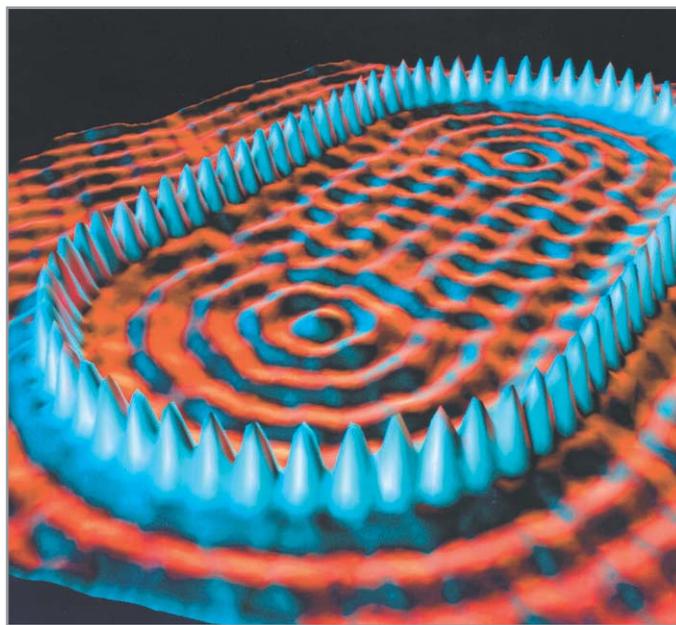
### Из пушки по ионам

Продолжая сравнение с вращающейся монетой, заметим, что исследователи не просто «хлопают» по ней ладошкой, чтобы посмотреть на результат. Они регистрируют состояние всей системы в целом с помощью так называемого интерференционного метода, который позволяет определить не только то, что видит наблюдатель («орел» или «решка»), но и угол между этими двумя

состояниями. Угол же этот зависит от способа запуска монеты, с которым можно сравнить процесс программирования квантового компьютера. Специфическое возбуждение отдельных атомов, а также их целенаправленное соединение позволяют привести к единому характерному интерференционному образцу многие отдельные состояния квантового компьютера. Этот образец и будет соответствовать тогда запрограммированному запросу.

Чтобы попытаться реализовать идею квантового компьютера хотя бы в масштабах лаборатории, профессор Вальтер помещает атомы магния в вакуумный цилиндр и затем подвергает их ионизации с помощью лазерной пушки. При этом мощный световой луч выбивает электрон (напомним, он имеет отрицательный заряд) из электронной оболочки атома, а получивший вследствие этого положительный заряд атом (ион) улавливается с помощью ионной ловушки. Такая ловушка состоит из трубок, согнутых в кольцо, которые снабжены мощными электромагнитами. За счет быстро меняющихся электрических полей ионизированные атомы так быстро колеблются, что условно их можно считать неподвижными. Эти атомы располагаются вдоль осевой линии ловушки в ряд и представляют собой теперь нужные q-биты (теоретически их количество может достигать 30 тысяч). Для сопряжения квантовых битов используют колебание, возникающее внутри этой цепочки атомов.

Этот колебательный эффект связывает атомы в единую систему таким образом, »



◀ Символический стадион из 76 атомов железа на медном основании, созданный учеными, демонстрирует большие успехи, достигнутые в этой области науки

» чтобы квантовый компьютер успешно функционировал. Но тут имеется маленький изъян: до сих пор удавалось соединить вместе лишь малое количество атомов, да и то на тысячную долю секунды. Но и этого достаточно, чтобы доказать принципиальную возможность создания квантового компьютера. Для практического решения таких ин-

тересных задач, как, например, вскрытие кодов, еще предстоит немало потрудиться... Но сами по себе соединенные атомы — это еще не квантовый компьютер. Ведь без ввода и вывода информации ничего не будет. Исследователи в Гархинге используют для этой цели все тот же лазер. Благодаря использованию лазера определенной

энергии «отловленные» ионы возбуждаются поодиночке и так же целенаправленно возвращаются на более низкий энергетический уровень. Таким образом, программы для квантового компьютера реализуются не в машинном языке, как в обычном ПК, а в импульсах лазерного излучения. Измерение состояния системы и связанное »

### Сравнение способа работы обычного компьютера и квантового: как коммивояжеру лучше всего попасть из Гамбурга в Мюнхен, не пропустив ни одного города?

Решение задачи про коммивояжера: Направляясь из Гамбурга в Мюнхен с заездом в пять других городов, коммивояжер должен отыскать оптимальный маршрут, чтобы посетить каждый из пяти промежуточных городов лишь один раз. [ М=Мюнхен, Н=Гамбург, К=Кобленц, D=Дюссельдорф, В=Берлин, С=Хемниц, N=Нюрнберг ]

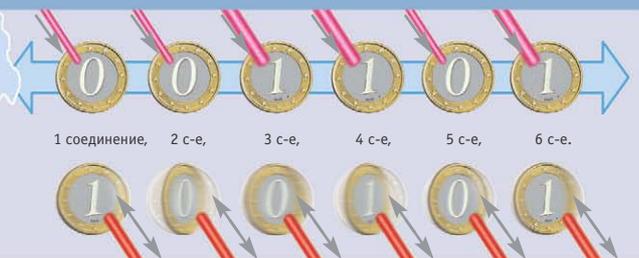
#### А. С помощью обычного ПК:

Правила поиска решения, т.е. программирования компьютера.  
 X – все маршруты с двумя одинаковыми цветами стираются.  
 М – если маршрут оканчивается точкой «Мюнхен», то считается поля. Если их количество меньше 7, то этот маршрут стирается.  
 М – если маршрут оканчивается точкой «Мюнхен» и количество полей равно 7, то решение найдено.

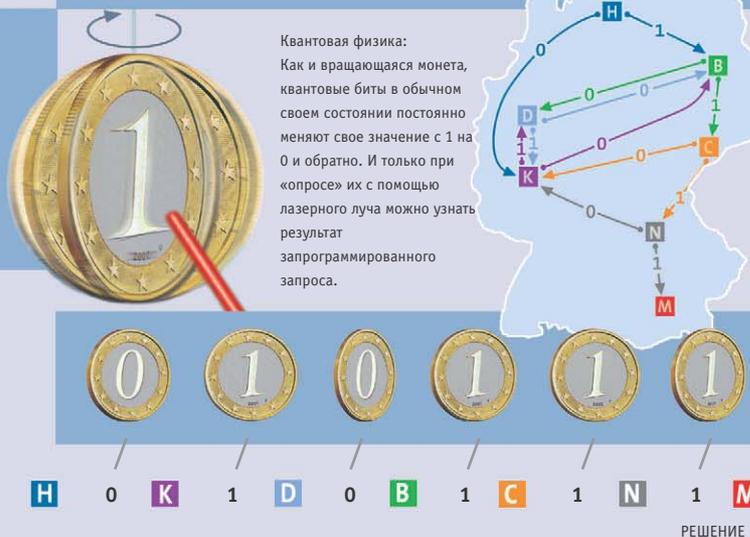


#### Б. С помощью квантового компьютера:

Основные принципы:  
 - нужно расположить q-биты в ряд  
 - на их состояние (основное состояние=0, возбужденное состояние=1) можно целенаправленно влиять с помощью лазерного луча  
 - результирующее состояние можно также запрашивать с помощью лазерного луча  
 - шесть квантовых битов могут представить 64 (два в шестой степени) различных числовых последовательностей.



Процесс вычисления:  
 Состояния квантовых битов (1 или 0) на графике представлены в виде вращающейся монеты. При программировании q-биты подвергаются воздействию с помощью лазерного луча. Другие лазерные лучи при считывании результата опрашивают квантовые биты, делая как бы их моментальный фотоснимок.  
 Программирование:  
 Чтобы суметь решить задачу коммивояжера с помощью квантового компьютера, направления от одного города к другому обозначаются как «0» или «1». Тогда каждый квантовый бит отвечает за принятие решения относительно определенного маршрута.  
 Чтобы отдельные атомы функционировали как квантовые биты, они должны быть объединены друг с другом.



Результат:  
 Каждое из определенных с помощью лазера положений «монеты»-квантового бита соответствует направлению между городами, и это позволяет выявить оптимальный маршрут от Гамбурга до Мюнхена.



## Квантовый компьютер в пробирке

«Вот это и есть мой компьютер», — заявляет доктор Айзек Чанг и, гордо улыбаясь, поднимает вверх пробирку с жидкостью, светящейся желтоватым светом. Химическая субстанция, а точнее, атомы фтора, находящиеся в ней, представляют собой основу проводимых в Силиконовой долине опытов IBM по созданию квантового компьютера. Американцы хотят заставить работать эти атомы с помощью так называемого ядерно-спинового резонанса, получаемого за счет воздействия магнитных полей и микроволнового излучения.

В отличие от германских ученых, американские не изолируют отдельные атомы, а используют тот факт, что все частицы, которые имеют

одинаковый импульс вращения — спин, — излучают одинаковый резонансный сигнал. Пока что ученые довольны тем, что удалось изолировать в определенных условиях и спрограммировать семь квантовых битов.

В пробирке доктора Чанга содержатся атомы фтора, «упакованные» в больших молекулах жидкости. Эти атомы соединены друг с другом и могут использоваться как элементы компьютерной системы. Основой для последующих экспериментов станут растворы, содержащие железо или хлороформ. Ученым понятно, что перед ними лежит еще длинный путь. «Проблемы из реального мира мы пока что решить не в состоянии», — признается доктор Чанг.



» с этим считывание результатов производятся также с помощью направленного лазерного луча.

### Между мечтой и реальностью

Остается только маленький вопрос: когда же квантовые компьютеры начнут решать практические задачи? «Если сравнивать с обычным компьютером процесс развития квантового компьютера, то сегодня мы находимся на том же этапе, где был в 19 ве-

ке Чарльз Бэббидж», — сказал год назад ныне покойный Рольф Ландауер, являвшийся одним из ведущих специалистов исследовательской лаборатории корпорации IBM.

Как известно, Чарльз Бэббидж, изобретатель компьютера, не имел ни малейшего шанса построить при своей жизни спроектированное им устройство. Поэтому профессору Вальтеру больше нравится сравнение с пионером авиации Отто Лили-

енталем, который, правда, тоже не увидел производства самолетов в промышленных масштабах.

Американский ученый Раймонд Курцвайль не согласен и с этим сравнением. Он заявляет: «...как раз компьютерные технологии развиваются со скоростью, которая возрастает по экспоненте. Вот почему я исхожу из того, что в течение последующих 20 лет все же будет создан мощный квантовый компьютер». **CHIP**

**Сравнение скорости вычислений квантовых компьютеров: каждый последующий атом учетверяет мощь компьютера. Вычислительная мощь квантового компьютера возрастает экспоненциально (для сравнения показана производительность современных вычислительных средств).**

