

ХОЛОДНЫЕ АТОМЫ ДЛЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

СТАНИСЛАВ СТРАУПЕ

СТАРШИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК ЦЕНТРА КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МГУ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА

Ни для кого не секрет, что квантовые компьютеры сейчас уже перестают быть научной фантастикой и потихоньку выходят из лабораторий в индустрию. Такие гиганты IT-технологий как, например, Google, пытаются разрабатывать свои собственные небольшие квантовые процессы. То есть, мы с вами сейчас живем в эру, которую можно окрестить эрой шумных квантовых компьютеров среднего масштаба.

Существует несколько физических систем, на основе которых ученые и инженеры пытаются создавать прототипы квантовых процессов:

1. Сверхпроводящие кубиты
2. Полупроводниковые структуры

Но мы с вами сегодня поговорим о другой системе, основанной на одиночных атомах в оптических ловушках.

В отличие от большинства искусственных структур, все атомы одинаковы, что чрезвычайно важно для квантовых процессов. Кроме того, у одиночных атомов достаточно большие времена когерентности, и в настоящий момент они держат рекорд. О них мы поговорим более подробно по той причине, что этой технологией мы занимаемся в своей лаборатории.

ЛАЗРЕННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Для того, чтобы использовать одиночные атомы в качестве кубитов в квантовом компьютере или в квантовом симуляторе, необходимо для начала уметь индивидуально обращаться с ними.

Существует несколько методов для этого, но все они так или иначе основываются на технологии лазерного охлаждения. Это методик получения ультрахолодных разреженных газов нейтральных атомов, которая развивается с 80-х гг., и за нее уже дали несколько Нобелевских премий.

Итак, зачем нам нужно лазерное охлаждение? Дело в том, чтобы работать с одиночными атомами, нужно решить по крайней мере 2 проблемы:

1. Нужно эти атомы изолировать от окружения (решается с помощью откачки нашей вакуумной системы до сверхвысокого вакуума)
2. Глубина потенциала оптического пинцета мала, поэтому нужно пользоваться методами лазерного охлаждения

К счастью, эти методы хорошо разработаны. Например, мы можем использовать магнитно-оптическую ловушку, позволяющая создавать облачко холодных атомов с помощью специальной конфигурации лазерных пучков и магнитного поля, создаваемого катушками (см. видео в лонгриде).

На самом деле, лазерное охлаждение — не такая уж фантастически сложная технология. Все, что вам нужно — узкополосные перестраиваемые лазеры. Вы настраиваете эти лазеры на длину волны перехода в интересующем вас атоме. Проще всего охлаждать щелочные металлы, поскольку у них простая структура энергетических уровней. Мы работаем с рубидием, например.

Итак, вы выбираете нужный вам атомный переход, настраиваете частоту лазера, включаете систему обратной связи и, если все прошло хорошо, вуаля — вы получаете холодные атомы!

Вот, что происходит в нашей вакуумной системе: светящаяся точка в самом центре кадра — облако холодных атомов рубидия при температуре порядка 100 мкК, захваченное в магнитно-оптическую ловушку. Она образуется в области пересечения лазерных пучков. Вокруг нее вы видите 2 установленные линзы, использующиеся для создания оптических пинцетов. То есть, лазерный пучок фокусируется ровно в центр этого облачка, и одиночные атомы из него захватываются в ловушки (см. видео в лонгриде).

КАК МОЖНО ЛОКАЛИЗОВАТЬ ОДИНОЧНЫЕ АТОМЫ?

Одной из технологий, позволяющей это сделать, является оптический пинцет. Это, по сути, жестко сфокусированный лазерный пучок, образующий область повышенной интенсивности оптического поля. Атом втягивается в эту область, что позволяет его локализовать на масштабах перетяжки лазерного пучка.

Итак, после того, как получено облако холодного газа, приходит время захватывать оттуда одиночные атомы в оптический пинцет. Оказывается, если сделать пинцет достаточно маленьким, с перетяжкой лазерного пучка менее 1 мкм, то возникает ситуация, когда в нем одновременно не может находиться более одного атома. В результате сложных процессов неупругих столкновений между ними, если их становится больше, то они просто вылетают.

Мы можем посмотреть на сигнал флуоресценции этих одиночных атомов с помощью чувствительного детектора, и тогда мы в реальном времени увидим картину, которая у вас сейчас на экране (см. видео в лонгриде).

Как можно видеть, возникают случайные процессы захвата атома в ловушку, при котором уровень флуоресценции возрастает. Но уровень флуоресценции более-менее постоянен, что говорит нам о том, что в ловушке в любой момент времени находится не более 1 атома.

Естественно, время жизни в ловушке ограничено, по крайней мере за счет столкновения с остаточным газом. Тем не менее, мы видим, что более чем 10 секунд одиночный атом может в нашем пинцете провести.

КВАНТОВЫЙ РЕГИСТР

Итак, мы умеем захватывать одиночные атомы в оптический пинцет. Но для того, чтобы создать из них квантовый регистр, необходимо собирать упорядоченную структуру. Для этого используется технология голографического пинцета.

Сейчас перед вами на экране специально рассчитанная голограмма, позволяющая формировать фокальные плоскости линз, формирующих пинцет (см. видео в лонгриде). В данном случае это квадратная решетка 5 x 5 узлов. В узлах этой решетки можно локализовать одиночные атомы тем же методом, которым они захватываются в уединенный пинцет. Расстояние между соседними узлами составляет несколько мкм (в данном случае около 5). Это нужно для того, чтобы мы могли оптически адресовать каждый из них индивидуально.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

Лично у меня нет никаких сомнений, что квантовые компьютеры будут созданы в ближайшее время. Надо только понимать, что это не будет новое поколение устройств, которые полностью вытеснят классические компьютеры. Это будут специализированные вычислители, которые будут действовать в определенных типах алгоритмов.

Что же это за алгоритмы?

Например, задачи квантовой химии. Это вычислительно сложные задачи, которые сейчас с трудом поддаются решениям. Ожидается, что квантовые компьютеры могут привести к существенному прорыву в этой области.

Кроме того, это задачи машинного обучения, где многие алгоритмы по сути сводятся к задачам алгебры. Опять-таки, поскольку квантовая теория построена на маточной алгебре, можно предположить, что квантовые вычислители позволят значительно ускорить эти алгоритмы.

ВЫВОД

Таким образом, представляется, что основной рынок квантовых компьютеров не будет потребительским. Это будут большие машины, к которым пользователи смогут получить доступ онлайн. И мы надеемся, что в ближайшие несколько лет, в том числе тот прототип квантовых вычислений на холодных атомах, о котором мы сегодня говорили, тоже станет доступен онлайн для всех желающих использовать его в своих научных задачах.