

Новосибирские физики захватили одиночный атом рубидия в оптическую ловушку на длительное время и сфотографировали его

Это один из необходимых этапов при создании отечественного квантового компьютера

Ученые Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, Новосибирского государственного университета и Новосибирского государственного технического университета смогли удержать одиночный атом рубидия в оптическом пинцете в течение сорока секунд. А также зарегистрировать атом в ловушке с помощью значительно более дешевой, чем обычно используется для таких исследований, видеокамеры, применив для получения изображения длиннофокусный объектив. Детали эксперимента изложены в журнале [«Квантовая электроника»](#).

Одиночные атомы могут выступать в качестве кубитов — элементов для хранения и передачи информации в квантовых компьютерах. Считается, что последние позволят реализовывать ускоренные методы машинного обучения; рассчитывать поведение многокомпонентных систем, что даст возможность создавать новые материалы, тестировать лекарства на молекулярном уровне; быстро находить ключи к современным системам шифрования данных.

Удержание одного атома в оптическом пинцете или, как его еще называют, дипольной ловушке — первый шаг к созданию массива кубитов и проведению квантовых вычислений. Массив содержит множество атомов, каждый из которых удерживается «своим» оптическим пинцетом. Соответственно, нужно уметь не только захватывать атомы, но и корректно их регистрировать. Электронные состояния холодных атомов могут существовать несколько секунд, это довольно долго в контексте квантовых вычислений и поэтому такие атомы удобны для использования в качестве кубитов. Работой с одиночными холодными атомами занимаются около 20-ти научных групп в мире, в России — только две: в ИФП СО РАН и в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова.

«Мы решали сложную проблему, состоящую из нескольких подзадач: во-первых, нужно охладить атомы (уменьшить их скорость — Прим. авт.), это делается при помощи лазерных пучков: поток фотонов из лазера поглощается атомами и их замедляет.

Во-вторых, одиночный атом необходимо захватить в ловушку, которая представляет собой тоже лазерный пучок, но с очень острой фокусировкой — несколько микрон — таков характерный размер пятна, в котором удерживается атом.

И в-третьих, чтобы сфотографировать атом, нужно за короткое время в сотню миллисекунд “зарегистрировать” инфракрасные фотоны, которые атом рассеивает, находясь в ловушке — примерно 1000 в секунду (это мало — бытовая видеокамера их не увидит и не почувствует). Условия

нашего эксперимента требуют, чтобы захваченные атомы регистрировались за короткое время — тогда их можно будет использовать в качестве кубитов», — объясняет старший научный сотрудник ИФП СО РАН, доцент НГУ кандидат физико-математических наук **Илья Игоревич Бетеров**.

Зарубежные научные группы для таких регистраций используют высокочувствительные научные EMCCD-видеокамеры с электронным умножением, но они дороги — стоят около пяти миллионов рублей и, к тому же, в Россию не поставляются с 2015 года. Новосибирские физики работали с научной sCMOS-видеокамерой предыдущего поколения, более низкого класса и существенно более дешевой (она стоила около шестисот тысяч рублей). Ученые смогли добиться впечатляющих результатов: достоверно зарегистрировали атом с минимальным временем экспозиции — 50 миллисекунд. Это типично для экспериментов, которые проводят исследователи во Франции, Германии, Корее и других странах, используя более совершенные EMCCD-камеры. В последних экспериментах самое длительное время, в течение которого новосибирские ученые наблюдали одиночный атом — 40 секунд.

«Нам пришлось разместить объектив оптического пинцета, как можно дальше от облака холодных атомов, чтобы они не взаимодействовали со стеклом — диэлектрической поверхностью. Такой процесс может плохо сказаться на дальнейшем проведении двухкубитовых квантовых операций. Поэтому мы использовали длиннофокусный объектив, но в результате нам было сложнее регистрировать испускаемые атомом фотоны — их в объектив попадает меньше, когда он находится далеко от атома.

К тому же, одиночный атом светится слабо, поэтому все его излучение требовалось сфокусировать на один пиксель матрицы видеокамеры. Однако впоследствии выяснилось, что, если мы просто пытаемся зарегистрировать одиночный атом, то практически ничего не видим на фоне шумов видеокамеры, поскольку лазер пинцета выводит атомы из резонанса с подсвечивающим излучением. Для того, чтобы справиться с этой проблемой, мы выключали дипольную ловушку на очень короткое время — не более чем на одну миллионную секунды — за это время одиночный атом не успевает ее покинуть — и повторяли так в течение нескольких тысяч циклов, накапливая сигнал за время, когда дипольный лазер выключен», — добавляет Илья Бетеров.

По наблюдениям исследователя, работа новосибирского коллектива — первая, в которой реализовано одновременное использование длиннофокусного объектива и sCMOS-видеокамеры, и результат может быть интересен не только российским физикам.

«Зарубежные группы тоже бывают стеснены в средствах, и если есть возможность купить видеокамеру существенно дешевле, которая показывает приемлемый для эксперимента результат — это для всех важно», — отмечает Илья Бетеров.

Следующий шаг новосибирских ученых — научиться выполнять однокубитовые операции с высокой точностью и перейти к двухкубитовым. То есть, если говорить упрощенно, «готовить» из холодных атомов логические элементы квантового компьютера, меняя электронные состояния атома и управляя ими.

Исследования поддержаны Российским научным фондом (проект № 18-12-00313), а также Фондом перспективных исследований.

Напомним, что Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН с 2018 года входит в состав [научного консорциума](#), работа которого направлена на развитие квантовых технологий и, в частности, создание отечественного квантового компьютера. Консорциум создан на базе МГУ имени М. В. Ломоносова и включает ведущие вузы и НИИ, такие как Санкт-Петербургский государственный университет, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Институт физики твердого тела Российской академии наук, Физико-технологический институт имени К.А. Валиева Российской академии наук, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН и другие.

Пресс-служба ИФП СО РАН