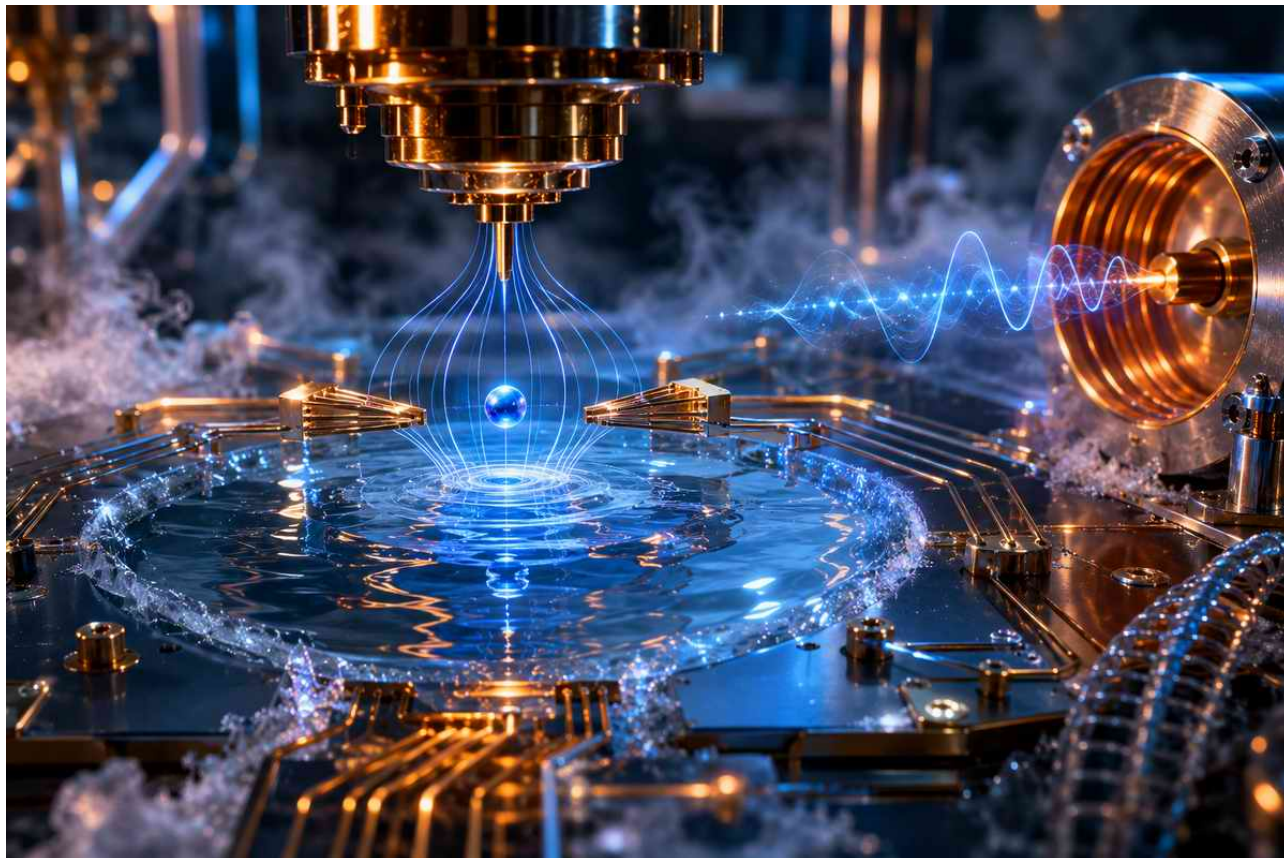


Электронны на свёрхтекучем гелии приблизили создание нового поколения квантовых компьютеров



Дата публикации: 09.07.2026

Квантовые компьютеры считаются одной из самых перспективных технологий XXI века. В отличие от традиционных компьютеров, которые обрабатывают информацию с помощью битов, принимающих значения только 0 или 1, квантовые системы используют кубиты — особые квантовые объекты, способные одновременно находиться сразу в нескольких состояниях благодаря принципу суперпозиции. Именно эта особенность позволяет выполнять некоторые вычисления во много раз быстрее, чем на самых мощных современных суперкомпьютерах.

Несмотря на огромный прогресс последних лет, создание действительно масштабируемого и надежного квантового компьютера остается одной из самых сложных инженерных задач современной науки. Главная проблема заключается в том, что квантовые состояния чрезвычайно чувствительны к любым внешним воздействиям. Даже минимальные колебания температуры, электромагнитные помехи или взаимодействие с окружающей средой способны разрушить хрупкое

квантовое состояние, вызывая вычислительные ошибки.

Поэтому исследователи по всему миру продолжают искать физические системы, которые смогут максимально долго сохранять квантовую информацию и одновременно позволят удобно управлять кубитами.

Одним из наиболее необычных кандидатов уже несколько десятилетий считаются электроны, удерживаемые над поверхностью сверхтекучего гелия. Эта идея была предложена еще в конце XX века и долгое время существовала преимущественно в виде теоретической модели. Теперь ученые сделали важный шаг к ее практической реализации.

Исследовательская группа компании EeroQ представила новую экспериментальную платформу, которая впервые позволила добиться сильного взаимодействия между отдельным электроном, находящимся над поверхностью сверхтекучего гелия, и одиночным микроволновым фотоном. Результаты работы опубликованы в журнале Nature Physics и рассматриваются как одно из наиболее значимых достижений в развитии альтернативных архитектур квантовых компьютеров.

Чтобы понять значение открытия, необходимо разобраться, почему именно сверхтекучий гелий вызывает столь большой интерес у физиков.

Сверхтекучий гелий представляет собой особое состояние жидкого гелия, возникающее при охлаждении практически до абсолютного нуля. В этом состоянии вещество приобретает уникальные свойства: оно течет без внутреннего трения, способно проникать через мельчайшие отверстия и практически не создает теплового шума.

Для квантовых систем это чрезвычайно важно. Электрон, находящийся непосредственно над поверхностью сверхтекучего гелия, практически не взаимодействует с атомами материала, как это происходит в обычных полупроводниках. Благодаря этому он оказывается исключительно хорошо изолирован от внешних помех, а значит способен значительно дольше сохранять свое квантовое состояние.

Именно такая высокая когерентность считается одним из главных преимуществ электронов на гелии перед многими существующими платформами квантовых вычислений.

Однако многие годы существовало серьезное препятствие. Несмотря на привлекательность идеи, ученые не могли эффективно считывать и контролировать состояние отдельных электронов. Без надежного способа взаимодействия с кубитом построить полноценный квантовый компьютер

невозможно. Команда EeroQ смогла решить именно эту проблему.

Исследователи разработали специальную архитектуру, объединяющую несколько передовых технологий квантовой инженерии. В ее основе лежит миниатюрная квантовая ловушка, удерживающая отдельный электрон над поверхностью сверхтекучего гелия, и сверхпроводящий микроволновый резонатор, способный эффективно взаимодействовать с этим электроном посредством одиночных фотонов.

Особое внимание ученые уделили усилению связи между двумя квантовыми объектами. Для этого был использован сверхпроводящий материал с высокой кинетической индуктивностью на основе соединения титана и азота. Такой материал позволяет значительно усилить локальное микроволновое электрическое поле и повысить эффективность взаимодействия между фотоном и электроном.

Перед изготовлением устройства инженеры выполнили большое количество компьютерных расчетов. Используя моделирование методом конечных элементов и другие современные вычислительные методы, специалисты оптимизировали геометрию будущей схемы, рассчитали распределение электрических полей и подобрали параметры, обеспечивающие максимально сильную квантовую связь.

Даже после завершения расчетов изготовление устройства оказалось чрезвычайно сложным процессом. Исследователям пришлось неоднократно изменять конструкцию, совершенствовать методы нанотехнологии и проверять различные варианты технологических процессов. В результате была создана экспериментальная установка, способная надежно удерживать один электрон и обеспечивать его взаимодействие с одиночным микроволновым фотоном.

Главным результатом эксперимента стала демонстрация так называемой сильной связи — режима, при котором квантовые объекты обмениваются энергией быстрее, чем теряют ее из-за взаимодействия с окружающей средой. Именно этот режим считается обязательным условием для создания полноценных квантовых вычислительных систем.

По сути, ученым удалось показать, что отдельный электрон на поверхности сверхтекучего гелия может выступать в роли полноценного зарядового кубита, которым уже можно управлять и который можно измерять. Однако это лишь промежуточный этап.

Конечной целью исследователей является использование не зарядового, а спинового состояния электрона. Спин считается гораздо более устойчивым носителем квантовой информации и способен сохранять когерентность

значительно дольше. Именно спиновые кубиты многие специалисты рассматривают как одну из наиболее перспективных основ для создания практических квантовых компьютеров.

Разработанная технология открывает путь именно к такому переходу. Получив возможность эффективно взаимодействовать с зарядовым состоянием электрона, ученые теперь планируют использовать известные механизмы связи между зарядом и спином для считывания и управления спиновыми кубитами.

Не менее важным преимуществом новой платформы является ее потенциальная совместимость с современной полупроводниковой промышленностью.

Разработчики рассчитывают использовать стандартные КМОП-технологии (CMOS), применяемые сегодня при массовом производстве микросхем. Это означает, что в будущем подобные квантовые устройства смогут выпускаться на существующих полупроводниковых фабриках без необходимости создавать полностью новые производственные линии.

Именно масштабируемость сегодня считается одной из главных проблем квантовой индустрии. Многие существующие архитектуры демонстрируют впечатляющие результаты на десятках или сотнях кубитов, однако переход к миллионам взаимосвязанных кубитов остается крайне сложной задачей. Совместимость с массовыми технологиями производства может существенно ускорить этот процесс.

Разработка также показывает, насколько тесно сегодня переплетаются различные направления современной физики. Для достижения результата исследователям пришлось объединить достижения квантовой механики, сверхпроводимости, наноэлектроники, материаловедения, микроволновой техники, вычислительного моделирования и прецизионной микрообработки.

Хотя практические квантовые компьютеры на основе электронов и сверхтекучего гелия пока еще остаются делом будущего, нынешний эксперимент демонстрирует, что эта концепция перестала быть исключительно теоретической. Впервые удалось экспериментально подтвердить возможность надежного взаимодействия между отдельным электроном и одиночным фотоном — ключевой элемент, без которого подобная архитектура была бы невозможна.

Следующим этапом станет создание полноценных спиновых кубитов, демонстрация их быстрого считывания, управление квантовыми состояниями с высокой точностью и объединение множества таких кубитов в единую вычислительную систему.

Если эти задачи удастся решить, электроны на сверхтекучем гелии могут стать основой нового поколения квантовых компьютеров, сочетающих длительное сохранение квантовой информации, низкий уровень ошибок, высокую скорость работы и возможность промышленного масштабирования. Подобная архитектура способна существенно приблизить создание универсальных квантовых вычислительных систем, которые смогут решать задачи в криптографии, моделировании молекул, разработке новых материалов, оптимизации сложных процессов и создании принципиально новых алгоритмов искусственного интеллекта.

Ссылка: «Сильная связь микроволнового фотона с электроном на гелии» DOI: [10.1038/s41567-026-03342-z](https://doi.org/10.1038/s41567-026-03342-z).