

«Розеттский камень» квантового кода: учёные создали универсальные вентили с использованием одного атома

Дата публикации: 21.08.2025

Будущее квантовых вычислений напрямую связано с тем, насколько эффективно учёные смогут справиться с главной проблемой — ошибками кубитов. Квантовые биты крайне чувствительны к шуму и внешним воздействиям, поэтому для надёжной работы требуется кодирование и коррекция ошибок. На практике это приводит к тому, что для одного логического кубита приходится использовать десятки и даже сотни физических кубитов, что делает построение масштабного квантового компьютера инженерным вызовом огромных масштабов.

Недавний прорыв в Сиднейском университете изменил представление о том, сколько физических ресурсов необходимо для таких систем. Исследователи впервые продемонстрировали возможность построения квантового логического вентиля на основе так называемых кодов Готтесмана-Китаева-Прескилла (GKP). Эти коды получили название «Розеттский камень квантовых вычислений», так как позволяют преобразовывать непрерывные квантовые колебания в дискретные состояния, удобные для хранения и обработки информации. Такой подход упрощает обнаружение ошибок и радикально сокращает число физических кубитов, необходимых для одного логического элемента.

В эксперименте использовался один ион иттербия, удерживаемый в ловушке Пауля. Лазерные системы позволили точно управлять его квантовыми колебаниями в трёх измерениях, что дало возможность закодировать кубиты GKP и создать условия для их запутывания. Учёные показали, что в пределах одного атома можно хранить два корректируемых логических кубита и управлять их взаимодействием, реализуя квантовый вентиль. Это стало первым экспериментальным подтверждением универсальных операций для кубитов GKP, ранее остававшихся преимущественно теоретической моделью.

Ключевая особенность эксперимента заключается в том, что логические операции проводились не над группой атомов или массивом кубитов, а над одним-единственным ионом, где колебания в разных измерениях выступали в роли отдельных квантовых состояний. Запутав два таких состояния, исследователи смогли смоделировать полноценный логический вентиль, используя минимальное количество физического оборудования. Это открывает путь к созданию более компактных и эффективных квантовых процессоров, где основной упор делается на качество коррекции ошибок, а не на количество

кубитов.

Работа имеет огромное значение для будущего квантовых технологий. Если ранее масштабирование предполагало экспоненциальный рост числа кубитов и сложность инженерной реализации, то теперь открывается возможность создавать квантовые вычислительные устройства на основе новых принципов кодирования. Универсальные вентили, построенные с использованием кодов GKP, демонстрируют, что можно одновременно сократить аппаратные затраты и повысить устойчивость к ошибкам.

В перспективе такие разработки позволят строить квантовые компьютеры, способные выполнять задачи, недостижимые для классических машин. Среди потенциальных применений: моделирование химических реакций на атомном уровне, проектирование новых материалов и лекарств, решение сложнейших задач оптимизации, а также создание новых алгоритмов машинного обучения. Всё это станет возможным лишь в том случае, если будут найдены эффективные способы работы с нестабильной квантовой информацией.

Эксперимент Сиднейского университета показывает, что мы находимся на правильном пути. «Розеттский камень» кода GKP становится инструментом, который переводит квантовые вычисления из области теории в практическую плоскость. Возможность реализовать универсальные квантовые операции с использованием минимального числа физических элементов знаменует важный шаг к тому, чтобы квантовые компьютеры стали реальностью не только в лабораториях, но и в индустрии.

Ссылка: «Универсальный набор квантовых вентилях для логических кубитов Готтесмана-Китаева-Прескилла» DOI: [10.1038/s41567-025-03002-8](https://doi.org/10.1038/s41567-025-03002-8).