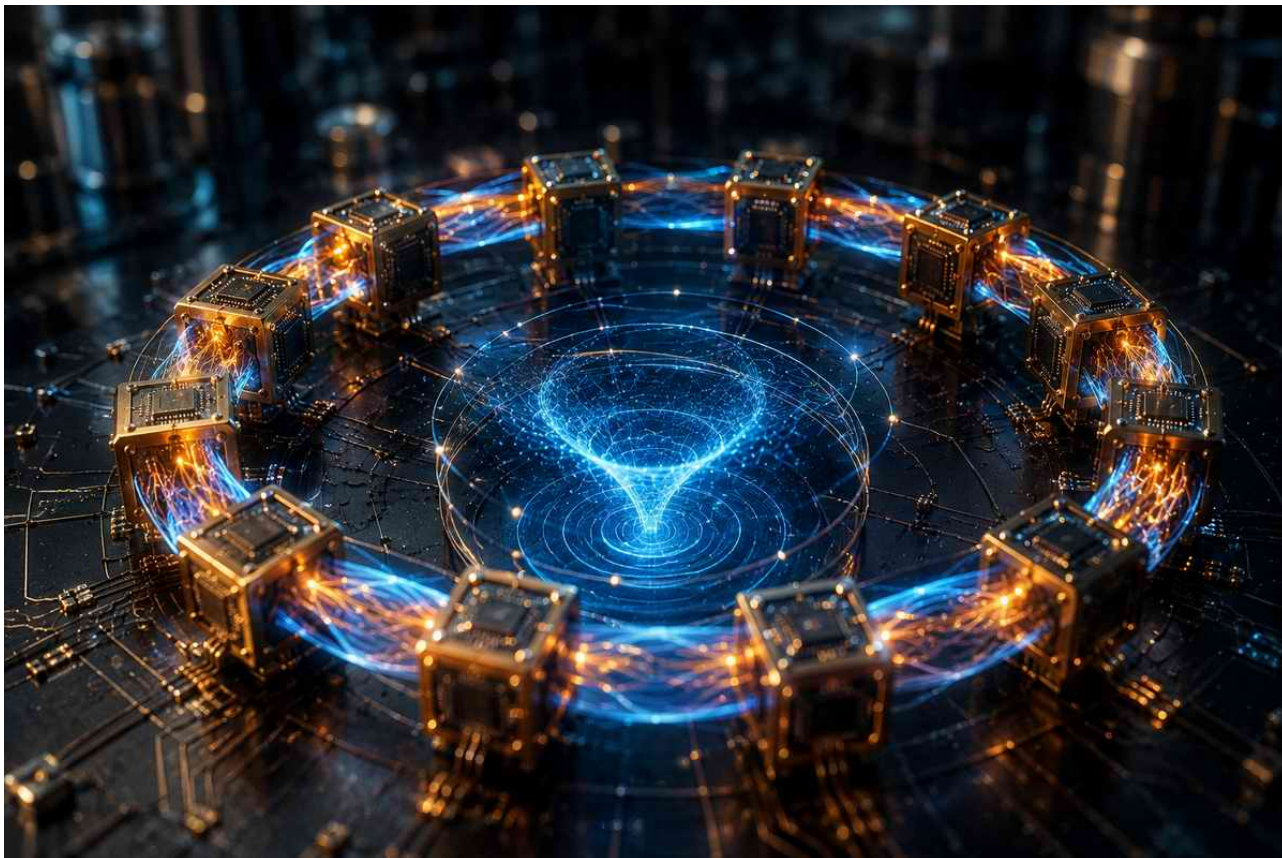


Квантовый велосипед: топологические состояния, которые забывают, как их создали — прорыв Гарварда и MIT



Дата публикации: 21.05.2026

Главная проблема квантовых компьютеров, которую физики пытаются решить уже более тридцати лет, называется декогеренцией. Квантовое состояние живёт крайне недолго: иногда микросекунды, иногда наносекунды. После этого случайный шум, тепловые колебания или электромагнитные поля разрушают суперпозицию и квантовую запутанность. Кубиты теряют информацию ещё до завершения вычислений. Современные системы вынуждены использовать сложные схемы охлаждения, вакуумные камеры и массивные механизмы коррекции ошибок. В 2026 году физики из Гарварда и MIT предложили совершенно иной подход. Вместо бесконечной борьбы с шумом они создали квантовые состояния, которым шум почти не страшен. Эти состояния получили неофициальное название квантового велосипеда.

Название связано с необычным свойством системы. Обычный велосипед продолжает ехать независимо от того, кто его толкнул, насколько сильно и под каким углом. Важен лишь сам факт движения. Новые квантовые состояния ведут

себя похожим образом. Их свойства определяются не деталями управления, а только общим маршрутом движения системы в пространстве параметров. Такое явление называется голономией. Благодаря этому ошибки в импульсах, колебания напряжения и часть внешних помех практически не влияют на результат. Система словно забывает, каким именно способом её создали.

В основе открытия лежит топология — раздел математики, изучающий свойства объектов, сохраняющиеся при плавных деформациях. Например, чашка и бублик считаются топологически одинаковыми, потому что оба объекта имеют одну дырку. Топологические квантовые состояния работают по схожему принципу. Информация хранится не в отдельном кубите, а в глобальной структуре всей системы. Повреждение одного элемента почти не влияет на общее состояние, потому что данные распределены по всей квантовой конфигурации одновременно.

Особенно важным оказалось создание неабелевых топологических состояний. В обычной, абелевой системе порядок операций не имеет значения. Два плюс три всегда равно трём плюс два. В неабелевой системе последовательность действий принципиально важна. Если вращать объект сначала вокруг одной оси, а затем вокруг другой, результат будет отличаться от ситуации, где порядок поменяли местами. Квантовые вычисления на основе неабелевых состояний позволяют кодировать информацию в самой последовательности преобразований. Это создаёт естественную защиту от ошибок управления.

Для эксперимента физики использовали массив из двенадцати сверхпроводящих кубитов, собранных в шестиугольную решётку. Между кубитами создали изинговское взаимодействие, позволяющее системе вести себя как единое квантовое целое. Установку охладили почти до абсолютного нуля, чтобы подавить тепловые флуктуации. Затем через систему пропустили последовательности управляющих импульсов, переводящих кубиты в топологическое состояние. Ключевой особенностью стало то, что одинаковое состояние создавали двумя совершенно разными наборами операций.

После этого начались проверки. На систему воздействовали случайными электромагнитными шумами, имитирующими реальные условия работы квантового процессора. Топологическое состояние сохранилось. Затем сравнили состояния, полученные разными последовательностями импульсов. Они оказались идентичными с точностью около 99,9 процента. Финальный тест подтвердил неабелевую природу системы: изменение порядка операций приводило к различным результатам. Это стало прямым доказательством того, что созданная конфигурация действительно обладает топологической защитой.

Главное значение эксперимента заключается в том, что ранее подобные состояния существовали либо только в теории, либо в крайне экзотических физических системах. Например, их наблюдали при дробном квантовом эффекте Холла в условиях сверхсильных магнитных полей и экстремально низких температур. Такие системы были практически непригодны для вычислительной техники. Гарвард и MIT впервые создали неабелевое топологическое состояние в программируемой архитектуре из сверхпроводящих кубитов.

Это резко изменило расстановку сил в квантовой гонке. Компания Microsoft более десяти лет пыталась построить топологический кубит на основе майорановских фермионов — гипотетических частиц, являющихся собственными античастицами. Несмотря на огромные инвестиции, стабильная система так и не появилась. Новый подход не требует поиска экзотических частиц. Топологическая защита создаётся внутри уже существующих сверхпроводящих схем.

Практические последствия могут оказаться огромными. Топологические квантовые компьютеры способны моделировать сложные молекулы, проектировать новые материалы, оптимизировать гигантские логистические сети и выполнять криптографические вычисления, недоступные классическим машинам. При этом топологическая защита потенциально уменьшает потребность в сложной коррекции ошибок и снижает требования к изоляции системы.

Пока эксперимент остаётся лишь первым шагом. Двенадцати кубитов недостаточно для полноценных вычислений, а время жизни состояния ограничено микросекундами. Система по-прежнему требует экстремального охлаждения. Но главное уже доказано: неабелевы топологические состояния можно создавать, контролировать и использовать в программируемых квантовых схемах.

Следующей целью станет масштабирование архитектуры до сотен кубитов и запуск простых квантовых алгоритмов внутри топологического процессора. Параллельно разрабатываются методы считывания информации без разрушения глобального состояния. Если эти задачи удастся решить, первые полноценные топологические квантовые компьютеры могут появиться уже в ближайшие годы.

Квантовый велосипед оказался не красивой метафорой, а реальной физической системой. Вместо борьбы с шумом физики создали состояние, которому шум почти безразличен. И это может стать самым важным поворотом в истории квантовых вычислений.