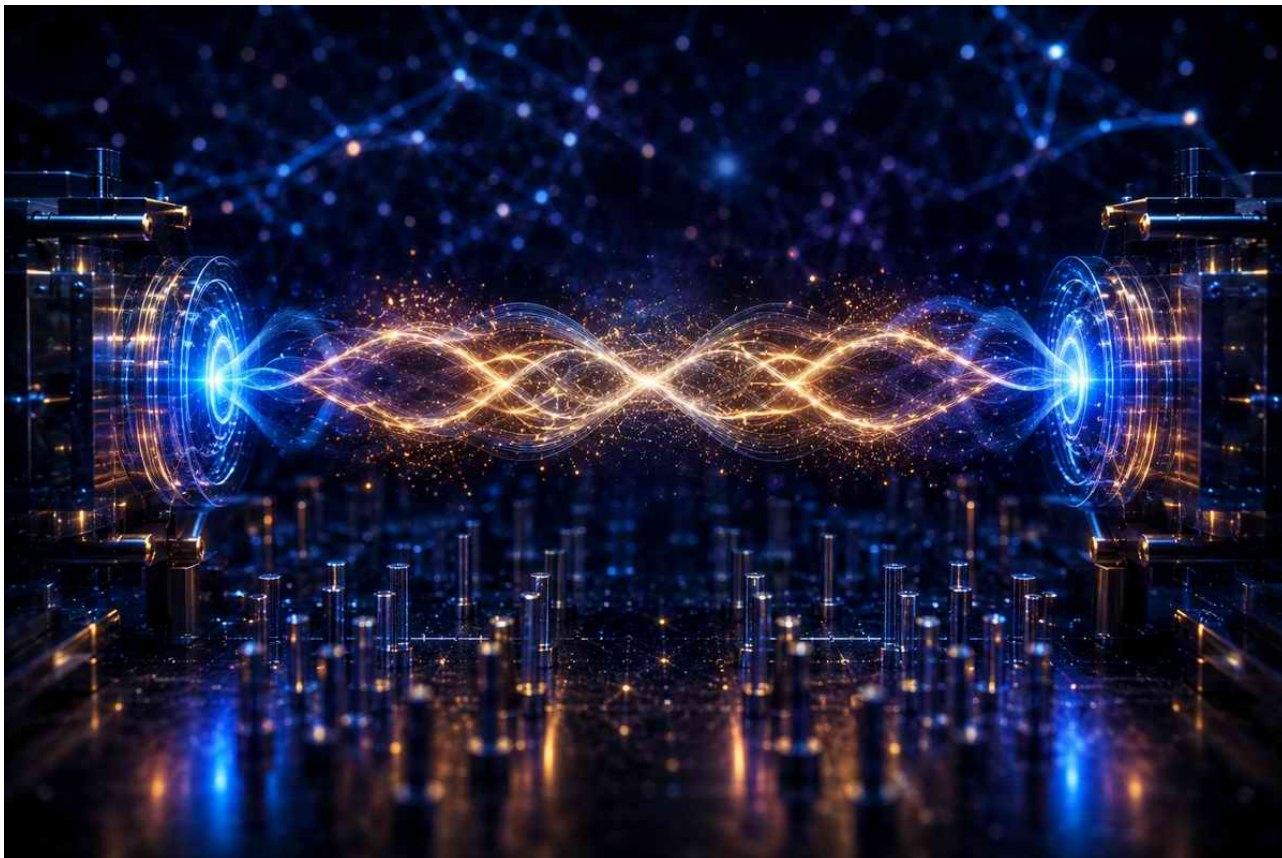


Физики приблизили создание устойчивых квантовых компьютеров с помощью односторонней синхронизации



Дата публикации: 12.05.2026

Квантовые технологии считаются одной из самых перспективных областей современной науки, однако их развитие сталкивается с фундаментальной проблемой — чрезвычайной хрупкостью квантовых состояний. Даже минимальные колебания температуры, шум окружающей среды или производственные дефекты способны разрушить тонкие квантовые эффекты, на которых основана работа квантовых компьютеров и квантовых сетей. Новое исследование физиков из японского Центра квантовых вычислений RIKEN предлагает возможное решение одной из самых сложных задач этой области — устойчивой квантовой синхронизации.

Группа теоретиков разработала метод достижения так называемой нерезиципрокной квантовой синхронизации фононов — особого квантового эффекта, при котором синхронизация распространяется только в одном направлении. По мнению исследователей, эта технология может стать важным шагом на пути к созданию более стабильных квантовых устройств, защищенных

квантовых каналов связи и масштабируемого квантового интернета.

В классической физике синхронизация хорошо известна и встречается повсюду — от маятников часов до работы электрических сетей и нейронной активности мозга. Квантовая синхронизация представляет собой гораздо более сложное явление, поскольку речь идет о согласованном поведении объектов, подчиняющихся законам квантовой механики. Такие системы способны находиться в суперпозиции состояний, демонстрировать запутанность и мгновенные корреляции, которые невозможно объяснить классической физикой.

Особый интерес ученых вызывает нересипрокность — асимметричное поведение системы, при котором взаимодействие работает преимущественно в одном направлении. В обычной жизни подобные эффекты встречаются, например, в диодах, пропускающих электрический ток только в одну сторону. В квантовых технологиях нересипрокность считается ключевым элементом для управления информационными потоками и защиты квантовых состояний от помех.

Современные оптические и микроволновые системы уже активно используют нересипрокные компоненты. Они помогают предотвращать отражение сигналов, направлять потоки энергии и уменьшать потери информации. Однако перенести эти принципы в квантовый мир оказалось значительно сложнее.

Главная проблема заключается в том, что квантовые состояния крайне чувствительны к любым внешним воздействиям. Даже слабый шум окружающей среды способен разрушить когерентность системы и уничтожить квантовую синхронизацию. Именно поэтому большинство ранее предложенных схем оставались скорее теоретическими моделями, плохо пригодными для практического применения.

Исследователи из RIKEN предложили новый подход, основанный на работе с фононами — квазичастицами, описывающими колебания вещества. Фононы часто называют «квантами звука», поскольку они переносят вибрационную энергию внутри материалов аналогично тому, как фотоны переносят свет.

В квантовых системах фононы играют чрезвычайно важную роль. Они могут использоваться для передачи информации между различными квантовыми элементами, управления состояниями кубитов и создания гибридных квантовых устройств, объединяющих механические, оптические и электронные компоненты.

Новый метод объединяет сразу два различных квантовых эффекта, работающих совместно. Система была спроектирована таким образом, чтобы синхронизация фононов возникала только при воздействии сигнала с одной

стороны, но блокировалась при воздействии в противоположном направлении. Это создает своеобразный «квантовый клапан», позволяющий управлять распространением синхронизации внутри системы.

Наиболее важным результатом исследования стала неожиданная устойчивость эффекта. Моделирование показало, что квантовая синхронизация сохраняется даже при наличии значительных шумов, дефектов и производственных несовершенств, которые ранее считались критическими для подобных систем.

Для квантовых технологий это особенно важно, поскольку именно нестабильность остается главным препятствием на пути к практическому использованию квантовых устройств. Современные квантовые компьютеры требуют сложнейших систем охлаждения, изоляции и коррекции ошибок, а любые внешние помехи резко снижают качество вычислений.

Исследователи считают, что их подход может стать основой для создания более устойчивых квантовых архитектур нового поколения. Односторонняя квантовая синхронизация потенциально позволит эффективнее изолировать полезные квантовые сигналы от паразитных шумов и обратных взаимодействий.

Особое значение открытие имеет для развития квантового интернета — глобальной сети, использующей квантовую запутанность и квантовые состояния для передачи информации. В отличие от обычного интернета, квантовые сети смогут обеспечивать практически абсолютную защиту данных благодаря фундаментальным законам физики.

Однако для построения таких сетей необходимо научиться надежно передавать и синхронизировать квантовые состояния между удаленными узлами. Именно здесь нереципрочная квантовая синхронизация может сыграть ключевую роль, обеспечивая устойчивое и направленное взаимодействие между элементами сети.

Кроме того, технология может оказаться полезной для квантовой криптографии, распределенных квантовых вычислений и создания устойчивых квантовых сенсоров сверхвысокой точности. Некоторые физики предполагают, что подобные системы в будущем смогут использоваться даже в космической связи и навигации.

Интересно, что исследование также затрагивает фундаментальные вопросы квантовой физики. Нереципрочность нарушает привычную симметрию взаимодействий и показывает, насколько необычным может быть поведение квантовых систем в сложных средах. Это открывает новые направления исследований в области квантовой термодинамики, теории открытых квантовых

систем и физики информации.

Ученые подчеркивают, что пока работа остается теоретической, однако ее результаты создают основу для будущих лабораторных экспериментов. Следующим этапом станет проверка предложенной схемы на реальных квантовых устройствах и интеграция подобных механизмов в экспериментальные квантовые сети.

Развитие устойчивой квантовой синхронизации считается одним из ключевых шагов к созданию полноценных квантовых вычислительных платформ. Многие специалисты сравнивают нынешний этап развития квантовых технологий с ранней эпохой классических компьютеров середины XX века, когда ученые только начинали понимать принципы построения будущих вычислительных систем.

По мере появления новых методов защиты квантовых состояний и управления квантовыми эффектами вероятность создания масштабируемых квантовых компьютеров становится все более реальной. Исследование физиков RIKEN показывает, что даже самые хрупкие квантовые явления могут оказаться значительно устойчивее, чем предполагалось ранее, если научиться правильно управлять их внутренней динамикой.

Ссылка: «Невзаимная квантовая синхронизация» DOI: [10.1038/s41467-025-63408-z](https://doi.org/10.1038/s41467-025-63408-z).