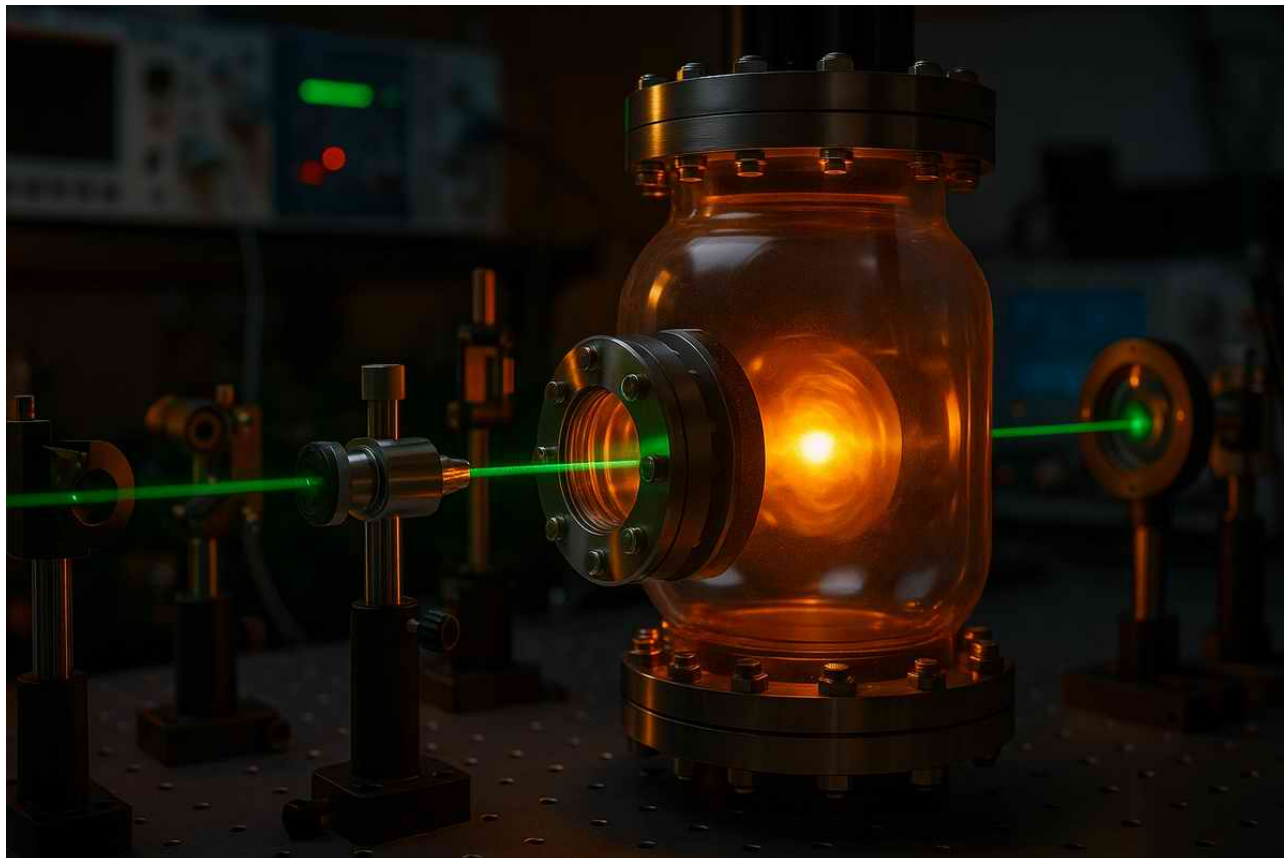


Рамановская квантовая память выходит на новый уровень: эффективность и точность приближаются к идеалу



Дата публикации: 17.11.2025

Современная квантовая инженерия стремительно приближается к тому, что ещё несколько лет назад казалось теоретическим пределом: созданию почти идеальной квантовой памяти. Именно такие устройства должны хранить и воспроизводить квантовые состояния с минимальными потерями, обеспечивая развитие квантовой связи, масштабируемых вычислений и распределённых сенсорных систем. Однако долгое время разработчики сталкивались с фундаментальной проблемой: попытки повысить эффективность приводили к росту шумов, ухудшению точности и разрушению квантовой информации. Новый метод, предложенный китайскими исследователями, демонстрирует, что этот барьер можно преодолеть.

Команда под руководством профессора Вэйпина Чжана и профессора Лицины Чэня представила квантовую память, основанную на схеме дальнего резонанса Рамана, которая сочетает рекордную эффективность хранения 94,6% с точностью восстановления квантовой информации 98,91%. Такой показатель

приближается к физическому пределу, необходимому для построения отказоустойчивых квантовых сетей. В отличие от предыдущих подходов, где высокая эффективность достигалась ценой роста случайных флуктуаций, новая методика устраняет этот компромисс, обеспечивая стабильность и низкий уровень шума.

Ключевым вкладом работы стало открытие фундаментального механизма, который описывает процесс преобразования света в атомные возбуждения. Исследователи разработали математическую модель, основанную на пространственно-временном отображении — преобразовании Ханкеля. Это позволило детально описать, как именно световое поле записывается в коллективное состояние атомов и извлекается обратно. Благодаря точному контролю над этим отображением память может адаптироваться к параметрам входного сигнала, фактически оптимизируя свой внутренний режим работы в реальном времени.

Испытуемая система основана на тёплых парах атомов рубидия-87 — платформе, которая давно используется в оптических экспериментах, однако не демонстрировала ранее столь высоких характеристик. Новый подход позволил соединить широкополосность рамановских схем с высокой точностью традиционных резонансных методов. Благодаря широкополосному режиму памяти устройство может работать с более быстрыми и интенсивными оптическими импульсами, что значительно расширяет его потенциальные области применения.

Особое внимание исследователи уделили устранению узкого места между эффективностью и точностью. В классических квантовых системах повышение эффективности часто сопровождается усилением спонтанного рассеяния, которое разрушает хрупкие квантовые состояния. В представленной системе этот эффект удалось минимизировать за счёт оптимизации энергетического баланса между управляющим и сигналовым полями. Результат — рекордно малый шум, который позволяет сохранять квантовое состояние практически неизменным.

Полученные данные имеют значительные последствия для построения будущих квантовых технологий. Почти идеальная квантовая память — необходимый элемент квантовых повторителей, которые обеспечат передачу квантовой информации на расстояния, недоступные современным оптоволоконным линиям. Кроме того, такие устройства могут стать частью архитектуры масштабируемых квантовых компьютеров, где требуется синхронизировать работу большого числа кубитов. Технология также полезна для высокоточных сенсорных систем, использующих квантовые эффекты для измерения слабейших сигналов.

Исследователи планируют развивать методику дальше, изучая новые физические принципы и возможности интеграции памяти в квантовые сети следующего поколения. Предполагается разработка более компактных модулей, пригодных для практической инженерии, и адаптация метода к новым спектральным диапазонам. Переход от лабораторных систем к реальным квантовым инфраструктурам станет следующим шагом на пути к созданию распределённых квантовых технологий, способных работать на больших расстояниях и выдерживать технические ограничения внешней среды.

Работа Чжана и его команды представляет собой один из самых значимых прорывов в области квантовой памяти за последнее десятилетие. Она показывает, что построение устройств с характеристиками, приближенными к теоретическому максимуму, более чем реально и что фундаментальное понимание атомно-светового взаимодействия открывает путь к качественно новым технологиям.

Ссылка: «Почти идеальная широкополосная квантовая память на основе интеллектуального уплотнения спиновых волн» [DOI: 10.1103/kbwj-md9n](https://doi.org/10.1103/kbwj-md9n).