

# Квантовая физика забывания: как удаление информации связано с энергией и энтропией

Дата публикации: 06.06.2025

На первый взгляд тепло и информация кажутся несопоставимыми понятиями. Одно относится к термодинамике и описывает физическую энергию, другое — к теории информации, абстрактной области математики. Однако уже в 1960-х годах физик Рольф Ландауэр сформулировал глубокую связь между ними: любое удаление информации физической системой неизбежно связано с выделением энергии — в виде тепла. Эта концепция, известная как принцип Ландауэра, стала краеугольным камнем в понимании физических основ вычислений, а сегодня — и квантовой механики.

Новое экспериментальное исследование, проведённое в Техническом университете Вены совместно с теоретиками из Свободного университета Берлина, впервые позволило измерить потерю информации в квантовой системе многих частиц и сопоставить её с передачей энергии и ростом энтропии. Эти результаты дают новое понимание природы измерения, термодинамики и фундаментальных ограничений квантовых технологий. Исследование опубликовано в Nature Physics.

Квантовая механика допускает существование обратимых систем, в которых состояние в каждый момент **времени** определено настолько точно, что можно восстановить прошлое или предсказать будущее. Но как только квантовая система вступает во взаимодействие с внешней средой, эта идеальная картина рушится. Процесс измерения или взаимодействия с окружением приводит к утечке информации: состояние становится недоступным для восстановления. Это и есть физическое «забывание» — удаление информации в смысле Ландауэра.

Чтобы наблюдать этот процесс, учёные использовали ультрахолодные облака атомов рубидия, заключённые в ловушки на специальном чипе. При высвобождении они начинали перекрываться, создавая интерференционные картины — своего рода отпечатки их квантовой информации. Система была искусственно разделена на две части: одна играла роль наблюдаемой подсистемы, другая — окружения. Именно между ними происходил обмен информацией, энтропией и энергией.

При помощи точных квантовых измерений и численного моделирования исследователи зафиксировали, как по мере утраты информации увеличивается энтропия и уходит энергия — подтверждая выводы Ландауэра уже на квантовом

уровне. Анализ показал, что даже в сложной системе с тысячами частиц эти процессы строго подчиняются фундаментальному термодинамическому балансу: невозможно стереть бит информации, не заплатив за это теплом.

Работа также проливает свет на одну из важнейших проблем квантовой механики: необратимость. В то время как уравнения Шрёдингера обратимы во времени, сам процесс измерения — нет. Здесь и возникает мост между квантовой механикой и классической термодинамикой, где рост энтропии определяет «стрелу времени».

Результаты особенно актуальны для квантовых вычислений, где каждый акт управления информацией может потенциально влечь за собой энергетические издержки. В условиях, когда квантовые технологии развиваются стремительно, понимание таких фундаментальных ограничений становится критически важным. Это позволяет проектировать более эффективные квантовые алгоритмы, вычислительные схемы и архитектуры, минимизируя потери и ошибки.

Эксперимент с холодными атомами создаёт новую платформу для точного и воспроизводимого исследования фундаментальных свойств квантовой информации. Это не просто подтверждение старой теоремы, а окно в глубинную природу того, как взаимодействуют материя, энергия и информация. Именно такие эксперименты помогают преобразовать абстрактные постулаты физики в конкретные инженерные решения, которые определяют облик технологий будущего.

**Ссылка:** «Экспериментальное исследование принципа Ландауэра в квантовом многочастичном режиме» DOI: [10.1038/s41567-025-02930-9](https://doi.org/10.1038/s41567-025-02930-9).