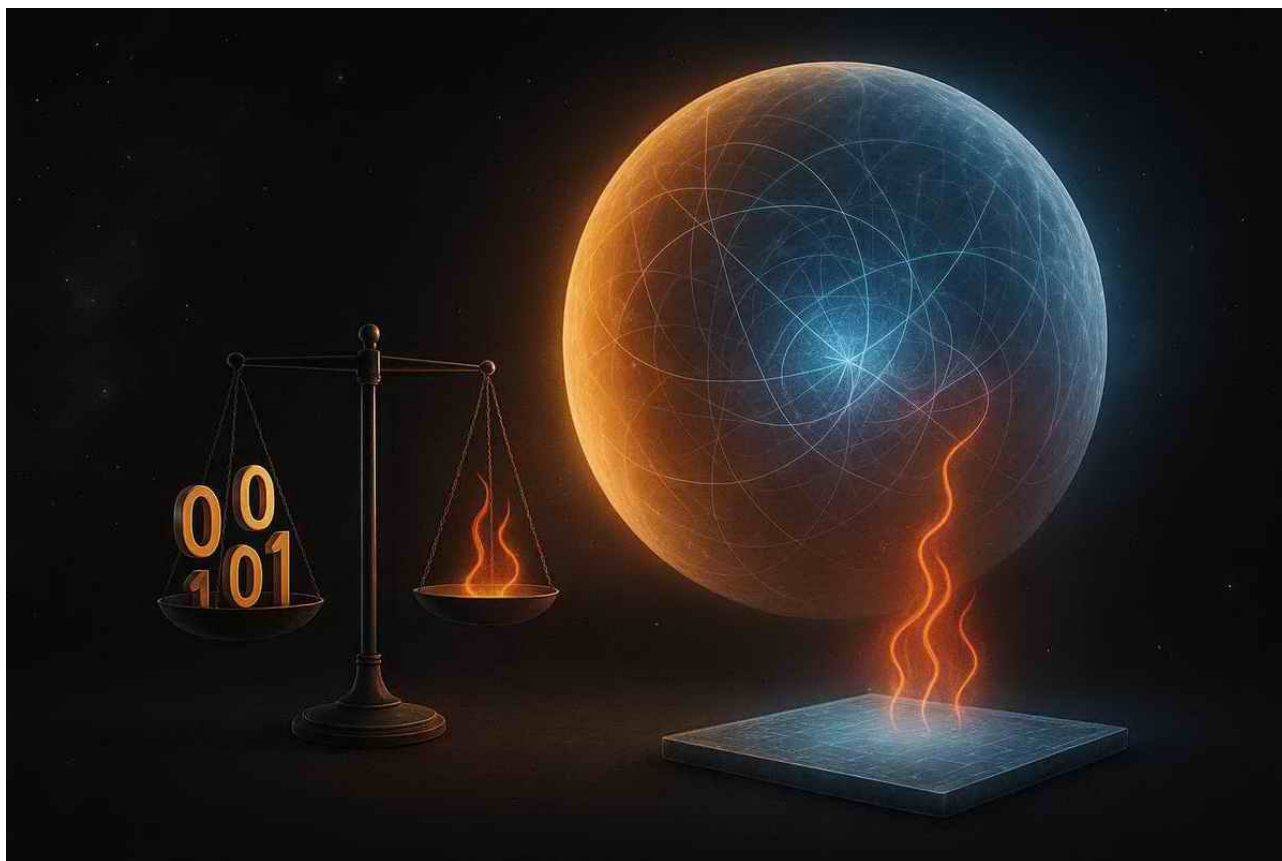


Когда квантовая система забывает: как удаление информации неизбежно приводит к энергетическим потерям



Дата публикации: 21.06.2025

Удаление информации — процесс, кажущийся нам обыденным: стирание файла, очистка памяти, сброс устройства. Но в физике, особенно квантовой, стирание данных — это не просто логическая операция. Это термодинамический процесс, связанный с потерей энергии и ростом энтропии. Именно это предсказал Рольф Ландауэр в 1961 году, сформулировав один из важнейших физических принципов современной информационной науки: любое удаление информации связано с выделением тепла. Этот принцип, на первый взгляд парадоксальный, теперь получил свое первое количественное подтверждение в квантовом эксперименте.

Исследователи из Венского технического университета совместно с коллегами из Свободного университета Берлина провели уникальный эксперимент с ультрахолодными атомными облаками. Они наблюдали, как в квантовой системе, состоящей из тысяч атомов рубидия, информация теряется при взаимодействии с окружающей средой. Это исследование впервые

позволило количественно измерить энергетическую цену квантового «забывания» — ситуацию, при которой информация, ранее хранившаяся в подсистеме, становится недоступной из-за взаимодействия с внешним миром.

Физическая основа этого явления лежит в различии между обратимыми и необратимыми процессами. В классической физике, например в небесной механике, знание текущего состояния позволяет точно восстановить прошлое. В квантовом мире — до тех пор, пока система изолирована — аналогичный принцип сохраняется. Но стоит системе вступить в контакт с внешним наблюдателем или средой, происходит декогеренция: квантовое состояние теряет когерентность, и часть информации уходит в среду безвозвратно. Это и есть момент квантового «забвения».

Для проверки этой гипотезы ученые использовали метод наложения двух атомных облаков, заранее подготовленных и охлажденных до ультранизких температур. Разделив их на «систему» и «окружение», исследователи наблюдали интерференционные картины — своеобразные квантовые отпечатки взаимодействий. Они показали, что после контакта система теряет информацию о своем начальном состоянии, а в среде фиксируется рост энтропии и небольшое, но измеримое увеличение энергии.

Ключевые результаты включают: наблюдение необратимой передачи информации из квантовой подсистемы в среду, экспериментальное подтверждение роста [энтропии](#), измерение тепловых потерь, соответствующих предсказаниям принципа Ландауэра, количественный анализ процессов на уровне многих частиц, применение атомных чипов и когерентных интерференционных измерений.

Особенность эксперимента состоит в том, что измерения проводились на уровне многочастичной квантовой системы, приближаясь к реальным условиям будущих квантовых вычислений. Ведь в квантовых компьютерах каждый логический шаг — это не просто абстрактная операция, а физический процесс. Стирание данных или сброс регистра — это уже не только вопрос программирования, но и энергетики.

Эта работа раскрывает фундаментальную связь между информацией, теплом и временем. Информация в квантовом мире — не эфемерная абстракция, а реальное физическое свойство, сохранение или потеря которого несет конкретные последствия. Каждое квантовое измерение, каждое взаимодействие с окружающей средой влечет за собой термодинамическую цену. Это ставит глубокие вопросы: может ли само течение времени быть выражением утраты информации? Можно ли считать энтропию мерой забывания Вселенной?

Благодаря точному эксперименту с ультрахолодными атомами ученые не только подтвердили фундаментальную идею Ландауэра, но и приблизились к пониманию, как природа управляет информацией на самом глубоком уровне. Эти знания уже сейчас важны для квантовых технологий, а в перспективе могут стать ключом к пересмотру того, как мы воспринимаем саму природу времени, памяти и энергии.

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