

# Энергия наблюдателя: как измерение квантового времени раскрывает скрытую термодинамику Вселенной

Дата публикации: 15.11.2025

Исследователи Оксфордского университета выявили удивительную особенность квантовых часов: основная энергетическая стоимость связана не с их работой, а с самим актом измерения. В ходе экспериментов выяснилось, что считывание квантовых тиков требует энергии примерно в миллиард раз больше, чем затрачивает сам квантовый механизм. Этот результат показывает, что основная доля энтропии в таких системах возникает в момент преобразования квантовых событий в классическую информацию, а не в процессе их естественного течения.

Идеальные часы — от маятников до атомных стандартов — всегда опираются на необратимые процессы: трение, колебания, релаксацию. В квантовой физике аналогичные процессы становятся чрезвычайно слабыми, а иногда исчезают полностью, что радикально усложняет задачу точного отсчёта времени. Новые квантовые устройства стремятся минимизировать энергозатраты, обеспечивая сверхточную работу датчиков, навигационных систем и вычислительных технологий. Однако законы термодинамики на квантовом уровне остаются далеко не очевидными.

Чтобы выяснить истинную термодинамическую стоимость измерения времени, исследователи создали нанометровые квантовые часы, где одиночный электрон перемещается между двумя квантовыми точками. Каждый переход между состояниями формирует чёткий квантовый тик. Работа такого хронометра требует минимальных энергетических затрат. Для фиксации этих тиков учёные применили два метода: один регистрировал сверхмалые электрические токи, другой использовал радиочастотные колебания, позволяющие отслеживать изменения в системе. В обоих случаях требовалось преобразовать квантовую динамику в измеримую классическую величину — именно здесь и возникал основной энергопотребляющий процесс.

Подробный анализ показал, что энтропийные затраты на считывающее оборудование многократно превышают энергетику самого квантового механизма. Наблюдение, а не тикание, становится главным источником необратимости и направленного течения времени в таких системах. Это наблюдение согласуется с фундаментальными принципами квантовой теории информации, где процесс измерения всегда связан с потерей информации и ростом энтропии. Тем самым эксперимент подтверждает, что сама возможность

наблюдать квантовое время накладывает неизбежную энергетическую цену.

Этот вывод существенно меняет подход к разработке квантовых часов. Традиционно считалось, что повышение точности требует улучшения квантовой части устройства. Теперь становится ясно, что дальнейший прогресс зависит от оптимизации способов обнаружения тиков — от сенсорных схем до систем считывания и обработки данных. Более эффективные методы регистрации смогут снизить термодинамические потери, которые сегодня определяют пределы работы подобных приборов.

Интересно, что этот энергетический дисбаланс может иметь и положительную сторону. Большие затраты на процесс наблюдения обеспечивают детализированную информацию о каждом переходе электрона, что расширяет возможности анализа и диагностики квантовых систем. Вместо простого отсчёта тиков становится возможно изучать тонкую динамику, выявлять взаимосвязи между квантовыми состояниями и исследовать фундаментальные закономерности, лежащие в основе времени.

Полученные результаты оказываются важными не только для метрологии, но и для фундаментальной физики. Они предлагают новое объяснение направленности времени: необратимость возникает из потребности преобразовывать квантовые события в классические данные. Таким образом, акт наблюдения становится не просто пассивной операцией, а глубинной причиной термодинамического течения времени.

Открытие оксфордских исследователей демонстрирует, что квантовые часы — это не только инструменты для измерения времени, но и мощные исследовательские платформы для изучения связи между энергией, информацией и фундаментальными законами природы. Новые данные помогут создавать более эффективные квантовые устройства, а также углубят понимание того, как сами принципы измерения формируют структуру физической реальности.

**Ссылка:** «Энтропийные вклады квантово-классического перехода в микроскопических часах» [DOI: 10.1103/5rtj-djfk](https://doi.org/10.1103/5rtj-djfk).