

## **Квантовая материя, которая не нагревается: как многочастичная локализация бросает вызов термализации**

Дата публикации: 29.12.2025

В классическом мире идея нагрева кажется очевидной: если систему постоянно встряхивать, сжимать или подвергать ударам, её энергия и температура растут. Это правило настолько интуитивно, что воспринимается как универсальное. Долгое время физики считали, что нечто подобное должно происходить и в квантовых системах, особенно если речь идёт о множестве сильно взаимодействующих частиц, находящихся под непрерывным внешним управлением. Однако недавний эксперимент со сверххолодными атомами показал, что квантовая материя способна вести себя принципиально иначе.

В лабораторных условиях была создана одномерная квантовая жидкость из атомов, охлаждённых до температур всего в несколько нанокельвинов выше абсолютного нуля. Такие условия позволяют максимально подавить тепловые эффекты и сосредоточиться на чисто квантовой динамике. Система подвергалась регулярному и интенсивному воздействию с помощью лазерного потенциала, который включался короткими периодическими импульсами, формируя своего рода «встряхиваемую» оптическую решётку. С точки зрения классической интуиции это должно было привести к неограниченному росту энергии и размыванию динамики частиц.

Вместо этого после начального переходного этапа исследователи зафиксировали неожиданное поведение. Распределение импульсов атомов перестало расширяться, а кинетическая энергия системы вышла на стабильный уровень. Несмотря на продолжающееся внешнее воздействие и сильное взаимодействие между частицами, система перестала поглощать энергию. Это состояние получило название многочастичной динамической локализации, при которой квантовая система локализуется не в реальном пространстве, а в пространстве импульсов.

Физический смысл этого эффекта заключается в том, что квантовая когерентность и многочастичная запутанность ограничивают доступные системе пути эволюции. Вместо хаотического рассеяния энергии возникает упорядоченная динамика, в которой импульсное распределение как бы «застывает» и сохраняет свою форму в течение длительного времени. Такое поведение резко контрастирует с привычной диффузией энергии и демонстрирует, что термализация в квантовом мире не является неизбежной.

Чтобы проверить, насколько устойчиво это состояние, исследователи слегка нарушили регулярность внешнего управления, введя случайность в последовательность импульсов. Даже небольшого беспорядка оказалось достаточно, чтобы разрушить эффект локализации. Распределение импульсов вновь начало расширяться, энергия стала расти, и система вернулась к привычному режиму непрерывного нагрева. Этот результат показал, что сохранение квантовой когерентности является ключевым условием существования многочастичной динамической локализации.

С теоретической точки зрения такие системы крайне сложны. Даже для сравнительно небольшого числа частиц их точное моделирование на классических компьютерах быстро становится практически невозможным из-за экспоненциального роста числа квантовых состояний. Именно поэтому экспериментальные платформы со сверххолодными атомами играют особую роль: они позволяют напрямую наблюдать эффекты, которые пока трудно описать численно, и служат ориентиром для развития теории.

Значение этого открытия выходит далеко за рамки фундаментального любопытства. Контроль над термализацией и подавление нежелательного нагрева являются одной из ключевых проблем в квантовых технологиях. Квантовые симуляторы, сенсоры и вычислительные устройства крайне чувствительны к декогеренции, и любое неконтролируемое поглощение энергии быстро разрушает квантовые состояния. Понимание механизмов, позволяющих системе оставаться стабильной под внешним управлением, может стать основой для создания более надёжных квантовых платформ.

Многочастичная динамическая локализация показывает, что квантовая материя способна противостоять хаосу даже в условиях интенсивного воздействия, если сохраняется когерентность и строгая структура управления. Этот результат заставляет пересмотреть устоявшиеся представления о неизбежности нагрева и термализации и открывает новое направление исследований управляемых квантовых систем, где порядок возникает не вопреки, а благодаря сложной квантовой динамике.

**Ссылка:** «Наблюдение динамической локализации многих тел» DOI: [10.1126/science.adn8625](https://doi.org/10.1126/science.adn8625).