

Квантовые скачки подчиняются скрытому порядку: физики пересматривают адиабатическую теорему



Дата публикации: 01.05.2026

Квантовая механика продолжает удивлять ученых своими парадоксами и неожиданными закономерностями. Новое исследование немецких физиков-теоретиков показало, что квантовые системы способны сохранять стабильность даже в условиях резких и практически мгновенных изменений. Этот результат может изменить представления о квантовой адиабатической теореме — одном из фундаментальных принципов современной физики, лежащем в основе квантовых вычислений, квантовой информации и теории сложных материалов.

В классической термодинамике адиабатическим называют процесс, при котором система не обменивается теплом с окружающей средой. Энергия изменяется исключительно за счет совершаемой работы. Простейший пример — быстрое сжатие воздуха в насосе или нагрев при механическом воздействии. Аналогичная идея существует и в квантовой механике, где адиабатическая теорема описывает поведение микроскопических систем при медленном изменении их параметров.

Согласно классической формулировке квантовой адиабатической теоремы, если квантовая система изменяется достаточно плавно, она сохраняет свое энергетическое состояние. Иначе говоря, частицы успевают «адаптироваться» к новым условиям, не переходя в возбужденные уровни энергии. Эта концепция играет ключевую роль в создании квантовых компьютеров, сверхпроводников и алгоритмов квантовой оптимизации.

Долгое время считалось, что резкие изменения почти неизбежно нарушают квантовое состояние системы. Однако исследование физиков из Гёттингенского университета показало, что в ряде случаев даже внезапные квантовые толчки не приводят к разрушению исходного состояния. Это открытие может иметь серьезные последствия для понимания устойчивости квантовой материи.

В основе исследования лежат модели Изинга — одни из самых известных математических моделей статистической физики. Именно они используются для изучения магнетизма, фазовых переходов и коллективного поведения частиц. Модель Изинга представляет собой условную решетку, в узлах которой расположены квантовые спины, способные принимать два состояния: вверх или вниз. Эти спины взаимодействуют друг с другом и с внешними магнитными полями, формируя сложные квантовые структуры.

Модели Изинга давно стали фундаментальным инструментом теоретической физики. Их применяют при изучении сверхпроводимости, квантовых фазовых переходов, нейросетей и даже некоторых аспектов теории информации. Несмотря на внешнюю простоту, такие системы способны демонстрировать крайне сложное коллективное поведение.

Авторы нового исследования изучили две разновидности модели Изинга. Первая включала быстро меняющееся поперечное магнитное поле и могла быть решена аналитически. Вторая оказалась значительно сложнее и потребовала масштабного компьютерного моделирования. Именно в этой более сложной системе ученые обнаружили неожиданную устойчивость основного квантового состояния даже после резкого внешнего возмущения.

Ключевую роль в исследовании играет понятие гамильтониана — математического описания полной энергии квантовой системы. Гамильтониан объединяет кинетическую и потенциальную энергию частиц и позволяет вычислять возможные квантовые состояния через уравнение Шрёдингера. Именно изменение гамильтониана определяет, как система будет эволюционировать во времени.

В квантовой физике гамильтониан считается одним из важнейших объектов теории. Через него описываются практически все фундаментальные процессы:

взаимодействие частиц, поведение электронов, свойства магнитных материалов и динамика квантовых полей. Изменяя параметры гамильтониана, физики могут моделировать самые разные состояния материи — от обычных металлов до экзотических квантовых фаз.

Новое исследование показало, что квантовые системы способны сохранять свое основное состояние даже после почти мгновенных изменений гамильтониана, если сохраняется определенная энергетическая структура. Особенно важным оказалось наличие энергетического зазора между основным и возбужденными состояниями. Такой разрыв словно защищает систему от разрушения квантового порядка.

По мнению исследователей, это открытие может оказаться важным для будущих квантовых технологий. Квантовые компьютеры чрезвычайно чувствительны к внешним помехам, а проблема потери когерентности остается одной из главных преград для развития отрасли. Если квантовые системы действительно способны сохранять устойчивость даже при резких изменениях, это может помочь в создании более надежных квантовых процессоров и систем хранения информации.

Особый интерес вызывает связь результатов с квантовой информацией и теорией квантовых фазовых переходов. Некоторые физики предполагают, что подобные механизмы устойчивости могут играть роль в формировании сложных квантовых состояний материи, включая топологические материалы и сверхпроводники нового поколения.

Исследование также затрагивает фундаментальный вопрос о границах применимости квантовой адиабатической теоремы. До сих пор она считалась справедливой преимущественно для медленных процессов, однако новые расчеты показывают, что в природе могут существовать гораздо более универсальные механизмы квантовой устойчивости.

Авторы подчеркивают, что их выводы пока относятся к определенному классу квантовых систем и не могут автоматически распространяться на все возможные гамильтонианы. Тем не менее результаты уже называют одним из наиболее интересных шагов в современной теоретической физике, поскольку они ставят под сомнение прежние ограничения квантовой адиабатики.

Существует мнение, что подобные исследования постепенно приближают физиков к более глубокому пониманию того, как квантовый мир сохраняет порядок в условиях хаоса. На макроскопическом уровне резкие изменения обычно приводят к разрушению стабильности, но в микромире квантовые системы иногда демонстрируют удивительную способность к самоорганизации.

Именно эта особенность может стать основой будущих технологий, в которых устойчивость информации будет поддерживаться не вопреки квантовым эффектам, а благодаря им.

Ссылка: «Расширение адиабатической теоремы» DOI: [10.1103/81jn-pkgb](https://doi.org/10.1103/81jn-pkgb).