

Квантовая механика без мнимых чисел? Новое исследование ставит под вопрос один из фундаментальных элементов теории



Дата публикации: 22.06.2026

Квантовая механика считается одной из самых успешных научных теорий в истории человечества. Именно она лежит в основе современной электроники, лазеров, полупроводников, магнитно-резонансной томографии, квантовых компьютеров и множества других технологий. Несмотря на более чем столетнюю историю развития, фундаментальные вопросы, касающиеся математической структуры квантовой теории, продолжают вызывать оживленные дискуссии среди физиков и математиков.

Новое исследование, проведенное учеными из Университета имени Генриха Гейне в Дюссельдорфе совместно с Немецким аэрокосмическим центром, предлагает неожиданный взгляд на одну из основ современной квантовой механики. Работа, опубликованная в журнале *Physical Review Letters*, показывает, что для описания квантового мира могут не потребоваться мнимые числа, которые традиционно считаются неотъемлемой частью квантовой теории.

Чтобы понять важность этого результата, необходимо вспомнить историю развития квантовой механики. В начале XX века классическая физика столкнулась с рядом явлений, которые невозможно было объяснить существующими законами. Исследования Макса Планка, Нильса Бора, Вернера Гейзенберга, Эрвина Шрёдингера и других ученых привели к созданию новой теории, описывающей поведение материи и энергии на атомном и субатомном уровнях.

Квантовая механика позволила объяснить множество явлений, которые кажутся парадоксальными с точки зрения повседневного опыта. Среди них волновая природа частиц, квантовое туннелирование, суперпозиция состояний, запутанность и когерентность. Именно эти эффекты сегодня используются при разработке квантовых компьютеров, систем квантовой криптографии и перспективных коммуникационных технологий.

На протяжении десятилетий математическим языком квантовой механики служили комплексные числа. В отличие от обычных действительных чисел они состоят из двух компонентов: действительной и мнимой части. Мнимая часть связана с математическим объектом, который обозначается как квадратный корень из минус единицы. Хотя подобная конструкция может показаться абстрактной, она чрезвычайно удобна для описания волновых процессов, интерференции и фазовых переходов в квантовых системах.

Фактически вся современная формулировка квантовой механики основана на использовании комплексных чисел. Волновые функции частиц, операторы эволюции и многие другие элементы теории записываются именно в такой математической форме. Поэтому долгое время считалось, что комплексные числа являются фундаментальной частью самой природы.

Однако среди теоретиков давно существует альтернативная точка зрения. Некоторые исследователи предполагают, что комплексные числа могут быть не физической необходимостью, а лишь удобным математическим инструментом. В этом случае реальная структура квантового мира могла бы быть описана иначе, а привычный математический аппарат являлся бы только одним из возможных способов представления физических процессов.

В последние годы вопрос получил новое развитие благодаря исследованиям аксиоматических основ квантовой механики. Ученые начали анализировать, какие именно постулаты приводят к необходимости использования комплексных чисел и можно ли построить эквивалентную теорию на другой математической базе.

В исследовании, опубликованном несколькими годами ранее, был сделан

вывод о том, что комплексные числа действительно необходимы для воспроизведения всех известных квантовых эффектов. Более того, ряд экспериментов рассматривался как подтверждение этой точки зрения.

Однако новая работа немецких физиков показала, что ситуация может быть значительно сложнее. Авторы внимательно проанализировали исходные предположения предыдущих исследований и обнаружили, что один из используемых постулатов накладывает слишком жесткие ограничения на возможные модели квантовой реальности.

Вместо этого ученые предложили альтернативный способ описания составных квантовых систем. Такой подход позволяет построить класс теорий, в которых используются исключительно действительные числа, без привлечения мнимой компоненты. Самое удивительное заключается в том, что эти модели оказываются экспериментально неотличимыми от стандартной квантовой механики.

С точки зрения наблюдателя обе теории делают абсолютно одинаковые предсказания. Любой эксперимент, который можно провести сегодня или представить в будущем, будет давать одинаковые результаты как в стандартной комплексной квантовой механике, так и в альтернативной версии, основанной только на действительных числах.

Этот вывод затрагивает одну из важнейших философских проблем современной науки. Если две математически разные теории дают идентичные экспериментальные результаты, возникает вопрос: какая из них лучше отражает устройство реальности? Возможно, некоторые элементы математического аппарата являются не фундаментальными свойствами природы, а лишь удобными средствами описания наблюдаемых явлений.

Подобные вопросы уже возникали в истории физики. Например, разные математические формулировки электромагнетизма или общей теории относительности могут описывать одну и ту же физическую реальность. Теперь аналогичная ситуация может возникнуть и в квантовой механике.

Исследование не означает, что учебники по квантовой физике придется переписывать в ближайшее время. Комплексные числа остаются чрезвычайно удобным и эффективным инструментом для расчетов. Однако работа показывает, что фундаментальные основы квантовой теории могут оказаться менее однозначными, чем считалось ранее.

Полученные результаты имеют значение не только для математической физики. Они затрагивают вопросы интерпретации квантовой механики, природы информации, устройства пространства состояний и даже философии науки. Если

дальнейшие исследования подтвердят эти выводы, представления о том, какие математические структуры действительно необходимы для описания Вселенной, могут существенно измениться.

Новая работа напоминает, что даже самые успешные научные теории продолжают развиваться. Спустя более ста лет после появления квантовой механики ученые по-прежнему находят неожиданные способы взглянуть на ее фундаментальные принципы и задают вопросы, которые еще недавно казались окончательно решенными.

Ссылка: «Квантовая механика, основанная на действительных числах: последовательное описание» DOI: [10.1103/4k13-sdjh](https://doi.org/10.1103/4k13-sdjh).