

Физики впервые получили стабильный конденсат Бозе — Эйнштейна из полярных молекул: это открывает новую эпоху квантовой физики



Дата публикации: 31.07.2026

Бозе-эйнштейновский конденсат считается одним из самых необычных состояний вещества, которое можно получить только при экстремально низких температурах. В этом состоянии отдельные частицы практически перестают вести себя как независимые объекты и начинают действовать словно единая квантовая система. Именно поэтому физики нередко называют такой конденсат «суперчастицей», хотя на самом деле он состоит из огромного числа атомов или молекул.

Теперь международная группа исследователей сделала важный шаг вперед, впервые сумев создать устойчивый бозе-эйнштейновский конденсат из сверххолодных полярных молекул натрия и рубидия (NaRb). Работа открывает новые возможности для изучения квантовой материи и может стать основой для появления принципиально новых технологий — от сверхточных квантовых датчиков до будущих квантовых компьютеров.

Чтобы понять значимость этого достижения, необходимо вспомнить, что первые бозе-эйнштейновские конденсаты были получены еще в 1995 году исключительно из отдельных атомов. За это открытие ученые получили Нобелевскую премию, поскольку оно позволило экспериментально наблюдать квантовые эффекты в макроскопическом масштабе. Однако молекулы оказались значительно более сложными объектами.

В отличие от атомов, молекулы обладают собственной внутренней структурой. Они могут вращаться, колебаться, а у полярных молекул положительный и отрицательный электрические заряды распределены несимметрично, благодаря чему возникает постоянный электрический дипольный момент. Именно эта особенность делает такие молекулы исключительно интересными для физиков, поскольку между ними возникают дальнотяствующие взаимодействия, практически недоступные в обычных атомных системах.

Но те же самые свойства долгое время мешали создать молекулярный конденсат. Когда охлажденные полярные молекулы сближались, они часто сталкивались между собой и образовывали нестабильные комплексы, существовавшие всего несколько миллионных долей секунды. После этого молекулы просто исчезали из экспериментальной ловушки, не позволяя довести охлаждение до необходимой температуры.

Именно эта проблема на протяжении многих лет считалась главным препятствием на пути к созданию полноценного молекулярного бозе-эйнштейновского конденсата. Большинство попыток заканчивались тем, что исследователи теряли слишком много частиц еще до завершения эксперимента.

Решение оказалось неожиданным. Физики использовали сразу два точно настроенных микроволновых поля, которые буквально изменили характер взаимодействия между молекулами. Одно поле заставляло электрические диполи вращаться, второе — колебаться. Благодаря такой комбинации ученым удалось сформировать своеобразный энергетический барьер, который не позволял молекулам подходить друг к другу слишком близко.

Образно говоря, между частицами возникла невидимая защитная оболочка. Молекулы продолжали сталкиваться достаточно часто для эффективного охлаждения, однако опасные столкновения, приводившие к потерям, практически исчезли. Именно этот баланс оказался ключом к успеху.

После создания такой «микроволновой защиты» исследователи смогли провести классическое испарительное охлаждение. По мере постепенного уменьшения глубины оптической ловушки наиболее горячие молекулы покидали

систему, а оставшиеся охлаждались все сильнее. В результате температура приблизилась к абсолютному нулю настолько, что газ пережил фазовый переход и превратился в настоящий бозе-эйнштейновский конденсат.

На этом открытия не закончились. Во время эксперимента физики обнаружили еще одно необычное явление — внутри конденсата сформировалась самосвязанная квантовая капля. Это экзотическое состояние вещества удерживается не внешней ловушкой, а собственными квантовыми взаимодействиями между молекулами.

Подобные квантовые капли уже наблюдались в некоторых атомных системах, однако для полярных молекул их свойства могут оказаться значительно богаче. Теоретические модели даже предполагают, что такие структуры способны принимать необычные формы, напоминающие тонкие однослойные образования, существующие благодаря особому характеру дипольных взаимодействий.

Особый интерес вызывает и сама физика нового конденсата. В традиционных атомных бозе-эйнштейновских конденсатах взаимодействия между частицами происходят лишь на очень малых расстояниях. В случае полярных молекул ситуация принципиально иная: электрические диполи позволяют частицам «чувствовать» друг друга на значительно больших расстояниях. Более того, созданный микроволновыми полями потенциальный барьер становится сравнимым с расстоянием между самими молекулами.

Это означает, что многие привычные модели квантовой физики разреженных газов перестают работать. Перед исследователями открывается совершенно новый режим поведения вещества, который может оказаться ближе к свойствам сверхтекучего жидкого гелия, чем к классическим атомным конденсатам.

Именно поэтому новая система представляет огромный интерес не только для экспериментаторов, но и для теоретиков. Она позволяет исследовать коллективное поведение большого числа квантовых частиц, изучать новые типы возбуждений, проверять современные модели многочастичной физики и искать ранее неизвестные квантовые фазы материи.

В ближайшие годы ученые планируют увеличить число молекул в конденсате и сделать его более стабильным. Это позволит подробно исследовать свойства обнаруженной квантовой капли, измерить ее характеристики и проверить существующие теоретические предсказания. Кроме того, новая технология может оказаться универсальной и применимой к другим полярным молекулам.

Если эти исследования окажутся успешными, физика получит принципиально новую экспериментальную платформу для изучения сложных квантовых явлений. В перспективе подобные системы могут стать основой для

моделирования материалов будущего, разработки высокоточных квантовых сенсоров и создания вычислительных устройств, использующих не классические, а коллективные квантовые свойства вещества.

Ссылка: «Бозе-Эйнштейновский конденсат ультрахолодных молекул натрия-рубидия с регулируемыми дипольными взаимодействиями» DOI: [10.1038/s41567-026-03362-9](https://doi.org/10.1038/s41567-026-03362-9).