

Ученые впервые увидели, как меняется вода в слое толщиной всего в одну молекулу



Дата публикации: 06.07.2026

Вода остается одним из самых загадочных веществ в природе, несмотря на десятилетия интенсивных исследований. Именно благодаря уникальной системе водородных связей она обладает необычными физическими свойствами, которые отличают ее от большинства жидкостей. Однако до сих пор ученые практически не могли напрямую наблюдать, что происходит с водой, если ограничить ее пространство до толщины всего одной молекулы. Новое исследование международной группы физиков впервые позволило увидеть поведение настоящей двумерной воды и показало, что в таких экстремальных условиях она перестает быть похожей на привычную нам жидкость.

Исследование опубликовано в журнале Nature Communications. В работе приняли участие специалисты Манчестерского университета, Национального института графена, британского синхротрона Diamond Light Source и Свободного университета Берлина.

Главной задачей ученых было понять, как меняется система водородных

связей, когда вода оказывается буквально зажатой между двумя идеально гладкими поверхностями. В обычных условиях каждая молекула воды постоянно образует и разрывает водородные связи с соседними молекулами, формируя сложную трехмерную сеть. Именно эта динамическая структура определяет многие необычные свойства воды, включая высокую теплоемкость, поверхностное натяжение и способность растворять огромное количество веществ.

Но если пространство ограничить настолько, что молекулы смогут расположиться только в один слой, привычная трехмерная сеть больше не может существовать. Теоретические модели давно предполагали, что в этом случае вода должна приобрести совершенно иные свойства, однако экспериментально подтвердить подобные расчеты долгое время не удавалось.

Главная сложность заключалась в том, что исследователям приходилось работать с невероятно малым количеством вещества. Один молекулярный слой воды практически невозможно изучить традиционными методами, поскольку сигнал оказывается слишком слабым.

Для решения этой проблемы ученые создали специальные наноканалы высотой всего несколько ангстремов. Их изготовили из двумерных материалов — графита и гексагонального нитрида бора. Эти материалы образовали практически идеально гладкие стенки, между которыми помещался только один слой молекул воды.

Дополнительным преимуществом конструкции стало то, что сами стенки усиливали инфракрасный сигнал, позволяя регистрировать колебания отдельных молекул с помощью сверхяркого синхротронного излучения.

Основным инструментом исследования стала инфракрасная спектроскопия. Этот метод позволяет наблюдать колебания химических связей внутри молекул. Особенно чувствительными оказались колебания гидроксильных связей О-Н, непосредственно отражающие состояние водородной сети.

Сравнивая спектры воды в каналах различной толщины с обычной объемной водой, исследователи проследили, как постепенно изменяется внутренняя структура жидкости при уменьшении пространства вплоть до одного молекулярного слоя.

Результаты оказались весьма неожиданными. Когда вода существовала в виде настоящего монослоя, ее инфракрасный спектр заметно сместился в область более высоких частот. Такой эффект считается надежным признаком ослабления и разрушения привычной сети водородных связей.

Иными словами, вода перестала представлять собой непрерывную трехмерную структуру. Вместо этого возникла своеобразная мозаика, состоящая из небольших кластеров связанных между собой молекул, разделенных менее организованными участками, где молекулы взаимодействуют значительно слабее.

Подобная картина означает, что двумерная вода представляет собой совершенно отдельное состояние вещества, а не просто сильно сжатую версию привычной жидкости.

Не менее интересным оказалось и другое наблюдение. Несмотря на нарушение водородной сети, плотность воды практически не уменьшилась. Это говорит о том, что молекулы продолжают располагаться очень компактно, однако способ их взаимодействия становится принципиально другим.

Для объяснения полученных результатов исследователи выполнили детальное компьютерное моделирование на атомном уровне. Расчеты подтвердили экспериментальные данные и показали, что структура однослойной воды действительно отличается как от объемной жидкости, так и от тонких водных пленок, образующихся на различных поверхностях.

Еще одним важным открытием стало определение границы, после которой вода начинает возвращаться к привычному поведению. Оказалось, что уже при толщине канала около одного нанометра, что соответствует примерно трем молекулярным слоям, структура жидкости начинает постепенно восстанавливать обычную трехмерную сеть водородных связей. Спектральные характеристики при этом становятся все ближе к тем, которые наблюдаются у обычной воды.

Это означает, что переход между двумерной и привычной трехмерной водой происходит достаточно резко и занимает всего несколько молекулярных слоев.

Полученные результаты имеют значение далеко не только для фундаментальной физики. Вода в условиях сильного пространственного ограничения встречается во множестве природных и технологических систем. Подобные условия существуют внутри биологических мембран, белковых каналов, искусственных нанопор, аккумуляторов нового поколения, топливных элементов, мембранных фильтров и различных наножидкостных устройств.

Понимание того, как изменяется структура воды в подобных условиях, может существенно повлиять на развитие сразу нескольких направлений науки и техники.

Возможные области применения включают: нанофлюидные устройства,

селективные мембраны, системы очистки воды, биологические каналы клеток, электрохимические технологии, аккумуляторы нового поколения, водородную энергетику, сенсоры сверхмалых размеров и материалы для хранения энергии.

Кроме того, разработанная исследователями экспериментальная платформа открывает возможность изучать не только воду. Аналогичным способом можно исследовать поведение других жидкостей, растворов электролитов, сольватированных ионов и молекулярных систем, которые до сих пор оставались практически недоступными для прямых измерений.

Особую ценность работы представляет то, что она впервые дала экспериментальное подтверждение целому ряду теоретических моделей, существовавших на протяжении многих лет. Теперь ученые получили возможность не только моделировать двумерную воду на компьютерах, но и непосредственно наблюдать происходящие в ней процессы.

Авторы исследования считают, что новая методика станет важным инструментом для физики конденсированного состояния, материаловедения, химии и биофизики. Чем лучше исследователи понимают поведение воды на атомном уровне, тем эффективнее можно проектировать материалы и устройства, работающие в экстремально малых масштабах.

Исследование также подчеркивает, что даже самое привычное вещество на Земле продолжает преподносить сюрпризы. Оказывается, стоит уменьшить доступное пространство всего до одной молекулы толщиной, и вода начинает жить по совершенно иным физическим законам, демонстрируя свойства, которые невозможно наблюдать в обычных условиях. Именно такие открытия постепенно расширяют представления ученых о поведении вещества на наномасштабном уровне и помогают создавать технологии будущего, основанные на управлении материей буквально на уровне отдельных молекул.

Ссылка: «Субдифракционное инфракрасное поглощение двумерной воды»
DOI: [10.1038/s41467-026-72629-9](https://doi.org/10.1038/s41467-026-72629-9).