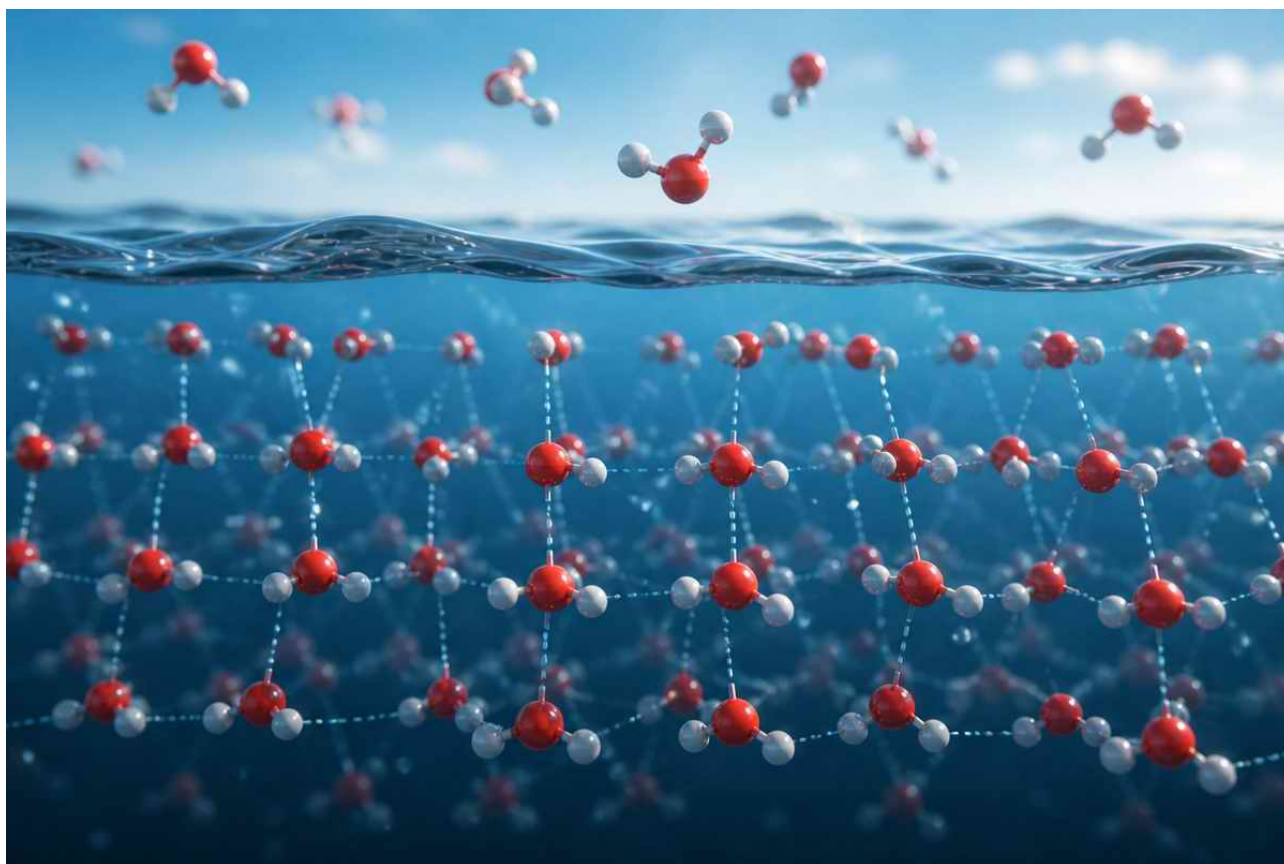


Ученые впервые увидели скрытое «скручивание» воды на границе воздуха и жидкости



Дата публикации: 01.05.2026

Вода кажется одним из самых простых и привычных веществ на Земле, однако именно она продолжает преподносить ученым неожиданные открытия. Исследователи из Института Фрица Хабера и Свободного университета Берлина сумели заглянуть в тончайшую область на границе между воздухом и жидкой водой и обнаружили там скрытый молекулярный порядок, о существовании которого ранее лишь догадывались. Работа показывает, что молекулы воды на поверхности ведут себя гораздо сложнее, чем считалось десятилетиями.

Граница раздела воздух-вода играет колоссальную роль практически во всех природных процессах. Именно здесь происходят важнейшие реакции в атмосфере, формируются свойства морской поверхности, зарождаются аэрозоли, взаимодействуют биологические мембраны и распространяются химические сигналы. Несмотря на фундаментальную важность этой зоны, она остается одной из самых сложных областей современной физической химии.

Проблема заключается в том, что поверхностный слой воды чрезвычайно

тонок. Его толщина составляет около восьми ангстремов — это всего несколько молекулярных слоев. В такой микроскопической области свойства воды радикально отличаются от обычной жидкости. Нарушается привычная сеть водородных связей, а сами молекулы начинают выстраиваться в определенные структуры.

Ранее ученые полагали, что для описания поведения молекул на поверхности достаточно понимать, куда они направлены — вверх или вниз относительно поверхности. Новое исследование показало, что этого недостаточно. Оказалось, что молекулы воды дополнительно скручиваются вокруг собственной оси, формируя сложную пространственную архитектуру.

Чтобы увидеть эту скрытую структуру, физики использовали новую методику вибрационной спектроскопии с разрешением по глубине. В эксперименте поверхность воды облучали комбинацией инфракрасных и видимых лазеров. Взаимодействие света с молекулами вызывало нелинейные колебания, создававшие новые световые сигналы. Анализируя малейшие изменения фазы и амплитуды этих сигналов, исследователи смогли буквально «просканировать» поверхностные молекулярные слои.

Полученные данные были дополнены компьютерным моделированием высокого уровня. Благодаря сочетанию эксперимента и вычислений ученые впервые восстановили детальную картину расположения молекул воды на границе с воздухом.

Выяснилось, что в четырех верхних слоях молекулы располагаются не хаотично, а образуют четкий повторяющийся узор. Причем этот порядок связан не только с наклоном молекул, но и с их вращением вокруг дипольной оси. В одном слое молекулы могут быть скручены в одну сторону, а в соседнем — уже в противоположную. Такая структура напоминает своеобразную молекулярную спираль, скрытую на поверхности жидкости.

По мнению исследователей, именно это скручивание может объяснить многие загадочные свойства воды, которые ранее не удавалось описать существующими моделями. Например, особенности химических реакций на поверхности океана, образование атмосферных частиц, скорость растворения газов и даже поведение биологических молекул в водной среде.

Особенно важным открытие может стать для климатологии и атмосферной химии. На границе воздух-вода происходят процессы поглощения углекислого газа, формирования облаков и взаимодействия с загрязняющими веществами. Если структура поверхностной воды отличается от прежних представлений, то многие климатические модели могут потребовать уточнения.

Интересно, что вода снова демонстрирует свойства, которые делают ее уникальным веществом во Вселенной. Несмотря на простую химическую формулу H_2O , вода обладает аномальной плотностью, высокой теплоемкостью, необычным поведением при замерзании и сложнейшей системой водородных связей. Теперь к этому списку добавляется еще и ранее неизвестный механизм молекулярного скручивания на поверхности.

Некоторые специалисты уже называют результаты исследования важным шагом к пересмотру всей современной теории межфазной воды. Существует мнение, что подобные скрытые структуры могут существовать и на других границах раздела — например, между водой и биологическими мембранами, минералами или наноматериалами.

Открытие также демонстрирует, насколько стремительно развиваются методы наблюдения за веществом на атомном уровне. Еще несколько лет назад увидеть ориентацию отдельных молекул в настолько тонкой области считалось практически невозможным. Сегодня же новые лазерные технологии и компьютерные модели позволяют исследователям изучать структуру вещества с точностью, которая раньше существовала лишь в теории.

Авторы работы подчеркивают, что их результаты — только начало. Следующим этапом станет изучение того, как меняется структура поверхностной воды при изменении температуры, давления, солености и присутствии растворенных веществ. Это позволит лучше понять процессы, происходящие в океанах, живых клетках и атмосфере Земли.

Исследование показывает, что даже самое привычное вещество на планете все еще хранит фундаментальные тайны. И чем глубже ученые изучают воду, тем очевиднее становится, что именно эта простая молекула может скрывать ключи к пониманию огромного числа природных процессов — от климатических изменений до механизмов жизни.

Ссылка: «Важность зависящего от слоя молекулярного скручивания для структурной анизотропии межфазной воды» DOI: [10.1126/sciadv.adz5505](https://doi.org/10.1126/sciadv.adz5505).