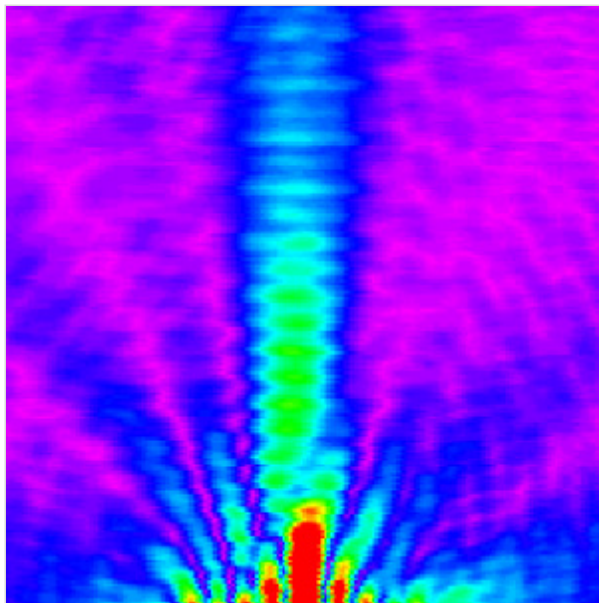


Разгадана тайна быстрого звука в воде

13.12.2006 • ИГОРЬ ИВАНОВ • ФИЗИКА • 4 КОММЕНТАРИЯ



Аномальная высокая скорость распространения высокочастотного ультразвука в воде 20 лет не давала физикам покоя. Сейчас это явление окончательно объяснено (изображение с сайта otsuka-lab.ee.cit.nihon-u.ac.jp)

Эксперименты итальянских физиков позволили наконец-то дать окончательное объяснение явлению быстрого звука в воде. Из двух существующих сегодня теорий — вязкоэластичной и двухкомпонентной — эти эксперименты подтвердили первую и опровергли вторую.

В обычных условиях скорость звука в воде составляет примерно 1,5 километра в секунду и не зависит от частоты звуковой волны. Однако уже давно известно, что ультразвуковые колебания с частотой несколько терагерц (1 терагерц = 10^{12} Гц) распространяются в воде со скоростью примерно вдвое большей. Это явление было открыто экспериментально 20 лет назад, намеки на него появлялись и при численном моделировании динамики

воды на атомарном уровне, но несмотря на всё это общепринятого его объяснения до сих пор не было. Только сейчас, благодаря экспериментам итальянских физиков, опубликованных в статье S. C. Santucci et al., *Physical Review Letters*, 97, 225701 (27 November 2006), в природе этого явления расставлены все точки над «i» (статья доступна также на сайте авторов, PDF, 274 Кб).

Сразу стоит подчеркнуть, что опыты со столь высокочастотным ультразвуком ставить очень непросто. Акустические излучатели в этом диапазоне пока не придуманы, и потому физикам приходится определять скорость такого ультразвука косвенными методами. Для этого воду облучают потоком нейтронов или рентгеновских лучей, которые, сталкиваясь с молекулами воды, порождают в микроскопическом объемчике быстрые колебания и передают им часть своей энергии и импульса. Из соотношения этих двух величин и выводится скорость распространения звуковых колебаний.

На сегодня существует две основных теории, претендующих на объяснение этого явления. В соответствии с первой, для звука всё более высокой частоты вода становится всё более упругой и всё менее подвижной средой (такие среды называются вискоэластиками). В результате колебания с такой высокой частотой распространяются скорее через упругую, почти твердую среду, а в твердом теле скорость звука выше, чем в жидкости (скорость звука во льду, например, как раз и составляет примерно 3 км/сек).

Вторая теория основана на том факте, что вода состоит из переплетенной сети ионов двух типов: очень легких ионов водорода и тяжелых ионов кислорода. Вычисления показывают, что часто в таких двухкомпонентных средах с сильно различающимися массами существует специальный тип быстрых звуковых волн, которые распространяются исключительно через сеть легких атомов. Эта теория уже хорошо себя зарекомендовала для

описания быстрого звука в двухкомпонентных газах и металлических сплавах, и потому кажется естественным, что она будет работать и для воды.

Обе эти модели, разумеется, согласуются с описанными выше экспериментами, однако они совершенно по-разному описывают *переход* от нормального звука к быстрому, который должен происходить при меньших частотах, в гигагерцевом диапазоне. Поэтому для ответа на вопрос, какая из двух моделей верна, требуется измерить зависимость скорости звука от частоты в этой промежуточной области. Дополнительная сложность такого эксперимента состоит в том, что наиболее четко переход от нормального к быстрому звуку проявляется в очень холодной и даже переохлажденной воде (то есть ниже нуля градусов Цельсия). Эксперименты с переохлажденной водой требуют сноровки, поскольку при малейшем возмущении она быстро кристаллизуется.

Именно этот опыт и поставили итальянские физики. Изучая рассеяние оптических и ультрафиолетовых фотонов, они смогли просканировать частотный диапазон звуковых колебаний от 1 до 100 ГГц и впервые получили точные данные о скорости звуковых колебаний в этом диапазоне. Эксперимент абсолютно четко показал, что при повышении частоты (или при понижении температуры) скорость звука действительно постепенно отходит от «нормальной» зависимости и начинает расти (в существовании такого плавного перехода, кстати, мнения тоже разделялись).

Кроме того, авторы статьи сравнили свои данные с предсказаниями обеих моделей и доказали, что эксперимент подтверждает вискоэластичную модель и противоречит выводам двухкомпонентной модели. Таким образом, можно считать, что в многолетнем споре приверженцев двух моделей поставлена точка. В целом же, эта работа лишней раз подчеркивает поразительное разнообразие структурных и динамических свойств воды

(для дальнейшего ознакомления см. популярную статью:

Ю. И. Головин. Вода и лед — знаем ли мы о них

достаточно? // *СОЖ*, 2000, № 9, с. 66–72).

Игорь Иванов