

## ЧЕТЫРЕХФОТОННАЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ВОДЫ В ПОЛЕ МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*А.Ф.Бункин, В.И.Грачев<sup>1)</sup>, Г.А.Ляхов, А.А.Нурматов*

*Институт общей физики РАН  
117942 Москва, Россия*

Поступила в редакцию 1 июля 1998 г.

Экспериментально обнаружены резонансные (частота  $1.4 \text{ см}^{-1}$ ) изменения оптического четырехфотонного спектра воды под воздействием миллиметрового электромагнитного поля. Сопоставление со спектром льда в диапазоне  $0-2 \text{ см}^{-1}$  указывает на структурирующий характер этого воздействия.

PACS: 61.20.Ne, 78.30.Cp

Метод четырехфотонной поляризационной спектроскопии (ЧФПС) [1,2] к настоящему времени позволил получить более новые результаты в исследовании длинноволновых резонансов жидкой воды [3, 4]. В диапазоне  $10 - 100 \text{ см}^{-1}$  этим методом обнаружена триплетная структура [5, 6], связанная, по-видимому, с коллективными квазивращательными модами молекул воды или динамических молекулярных комплексов. В диапазоне около  $6 \text{ см}^{-1}$  получено подтверждение оптическим методом [7] существования полосы, обнаруженной ранее в нейтронном рассеянии [4, 8] и, вероятно, связанной с колебаниями протона вдоль водородной связи. В области  $0 - 1 \text{ см}^{-1}$  методом ЧФПС обнаружена интерференция бриллюэновской и керровской мод [9, 10].

Дальнейшие исследования в крыле рэлеевской линии обнаруживают еще одну особенность – четко выделенный пик около  $1.4 \text{ см}^{-1}$  [9]. Его наличие в спектре воды пока не удается достоверно связать с определенной физической модой. Одна из возможностей продвижения в интерпретации этого пика – его наблюдение в условиях внешнего контролируемого воздействия на водную среду.

Наиболее перспективным представляется резонансное воздействие; его обеспечивает, в частности, электромагнитное излучение с длиной волны около  $7 \text{ мм}$ .

Эксперимент проведен на ранее разработанной установке [5]. Задающим генератором служил одночастотный лазер на YAG:Nd, излучение которого после трех каскадов усиления преобразовывалось в термостабилизированных кристаллах CDA во вторую гармонику; излучение третьей гармоники использовалось для накачки узкополосного лазера на красителе (ЛК) Coumarin-500 (Exciton Inc.). Излучение ЛК (диапазон перестройки  $483 - 565 \text{ нм}$ ) вместе с излучением второй гармоники задающего лазера ( $\lambda = 532 \text{ нм}$ ) служили для параметрического возбуждения резонансов среды в диапазоне частотных отстроек от  $-1000$  до  $2000 \text{ см}^{-1}$ , включая область вблизи  $0 \text{ см}^{-1}$ , что позволяет, в том числе, исследовать низкочастотные колебательные и либрационные резонансы, релаксацию анизотропии (крыло линии Рэля), бриллюэновские линии. Хорошая воспроизводимость регистрируемых четырехфотонных спектров (не хуже 5%) достигается полной автоматизацией процесса регистрации и статистической обработки сигнала, а также высокой спектральной и амплитудной стабильностью используемых лазерных пучков, что позволяет проводить детальное

<sup>1)</sup> e-mail: grant.k2peak@relcom.ru

количественное сравнение спектров, полученных в разных экспериментальных условиях в течение нескольких лет.

В качестве источника миллиметрового излучения использована модификация серийного прибора "Явь" [11] с рабочими длинами волн 7.1 мм ( $1.4 \text{ см}^{-1}$ ) и 5.6 мм ( $1.8 \text{ см}^{-1}$ ) и плотностью потока мощности с излучающей поверхности генераторной головки около  $10 \text{ мВт/см}^2$ . Измерения проводились в дважды дистиллированной деионизованной воде.

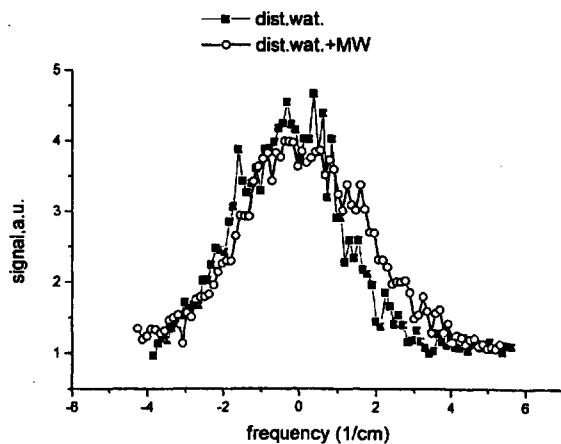


Рис.1. Четырехфотонный спектр воды в отсутствие внешнего поля (■) и при облучении источником с длиной волны 7.1 мм (○)

Результаты измерений четырехфотонного спектра дистиллированной воды в отсутствие внешнего поля в сопоставлении со спектрами, полученными при одновременном облучении воды (генераторная головка в 1 см над ее свободной поверхностью) источником миллиметровых волн, обнаруживают их заметные различия (рис.1). Воздействие миллиметрового поля понижает интенсивность спектра вблизи нулевой частоты примерно на 10%. Пик же  $1.4 \text{ см}^{-1}$ , наоборот, растет на  $\sim 15\%$ . Вся полоса сдвигается в стороны положительных частотных отстроек на доли обратного сантиметра, при этом уровень фона (частоты выше  $4 \text{ см}^{-1}$ ) не изменяется. Существенно, что облучение воды на длине волны  $5.6 \text{ см}^{-1}$  не вызывает заметных изменений ее четырехфотонного спектра. Это обстоятельство исключает тепловое воздействие в качестве причины изменений спектра, подтверждая резонансный характер воздействия.

Отметим, что для длины волны 7.1 мм толщина скин-слоя воды при проводимости  $\sigma \sim 75 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$  составляет около 0.4 мм. Вода не прозрачна для миллиметрового излучения, и механизм его воздействия на четырехфотонный оптический спектр, то есть на оптические параметры воды в глубине кюветы, нетривиален. В частности, его нельзя связать с какой-либо локализованной модой.

Дополнительную информацию предоставляет ЧФПС льда. Спектр льда в этом диапазоне (рис. 2), полученный по той же методике [4], имеет фактически те же отличия от спектра жидкой воды, что и привносимые миллиметровым облучением, но в гораздо более выраженной форме. Интенсивность спектра льда около нулевой частоты падает, а на частоте  $1.4 \text{ см}^{-1}$  растет, причем так, что их отношение меняется на противоположное:  $I(1.4 \text{ см}^{-1}, \text{лед})/I(0, \text{лед}) > 1$ , в то время как  $I(1.4 \text{ см}^{-1}, \text{вода})/I(0, \text{вода}) < 1$ .

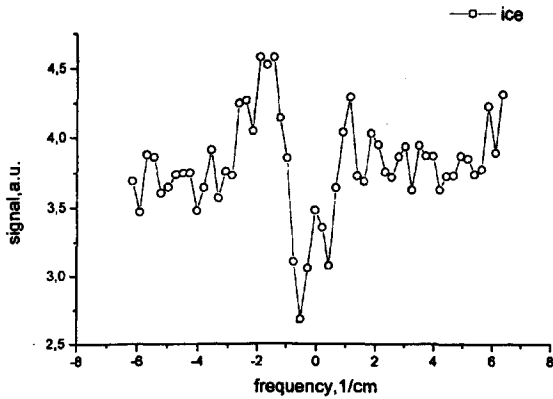


Рис.2. Четырехфотонный спектр льда

Сопоставление данных рис.1 и 2 дает, на наш взгляд, основания для гипотезы о структурирующем характере воздействия миллиметрового поля на жидкую воду. Поглощаясь в скин-слое, миллиметровое излучение, по-видимому, запускает механизм взаимной ориентации соседних молекул воды. Возникающее таким образом поле частичной ориентационной упорядоченности распространяется на глубины, много большие, чем толщина скин-слоя; существенно, что соответствующий масштаб изменений не связан с величиной проводимости. Качественно этот механизм напоминает механизм ориентационной упорядоченности жидкокристаллических образцов конечной толщины, вызванной заданными условиями механической обработки их поверхности. Разумеется, применительно к воде речь может идти только о динамической упорядоченности и только с присущими молекулам воды тетраэдрическими мотивами.

Авторы благодарны В.В.Колесову (Институт радиотехники и электроники РАН, г. Москва) за предоставление источника миллиметрового излучения и материалов.

1. А.Ф.Бункин, Д.В.Мальцев, К.О.Сурский, Письма в ЖЭТФ **47**, 565 (1988).
2. A.F.Bunkin, S.A.Gnedoy, G.A.Lyakhov et al., *Opt.&Acoust. Rev.* **1**, 29 (1990).
3. А.Ф.Бункин, Г.А.Ляхов, А.А.Нурматов, А.В.Резов, Изв. РАН, сер.физич. **59**, 12, 19 (1995).
4. A.F.Bunkin, G.A.Lyakhov, A.A.Nurmatov, and N.V.Suyazov, *Лазерные методы исследования воды и водных растворов*, М.: Наука, 1997, с.5 (Труды ИОФАН; т.54).
5. A.F.Bunkin, G.A.Lyakhov, A.A.Nurmatov, and A.V.Rezov, *Phys. Rev.* **B52**, 9360 (1995).
6. Г.А.Ляхов, *Оптика и спектроскопия* **78**, 917 (1995).
7. A.F.Bunkin, G.A.Lyakhov, A.V.Rezov, and K.O.Sursky, *J. Mod. Opt.* **37**, 1155 (1990).
8. D.Eisenberg and W.Kauzmann, *The Structure and Properties of Water*, Oxford Univ. Press, New York, 1969.
9. А.Ф.Бункин, Г.А.Ляхов, А.А.Нурматов, Н.В.Суязов, *Оптика и спектроскопия* **82**, 638 (1997).
10. A.F.Bunkin, G.A.Lyakhov, A.A.Nurmatov, and N.V.Suyazov, *Appl. Phys.* **B65**, 91 (1998).
11. Ю.В.Дедик, Н.А.Кругляков, Т.В.Реброва и др., *Электронная техника, сер. Электроника СВЧ* **6**, 61 (1984).