

УДК 535.36

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ СКАТТЕРОМЕТРИИ

Валерий Анатольевич Козлов⁽¹⁾, Артем Вадимович Старосветский⁽²⁾

⁽¹⁾Студент 6 курса,

кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,

⁽²⁾студент 5 курса,

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Научные руководители: Ю.В. Голубенко⁽³⁾, Н.Ф. Бункин⁽⁴⁾,

⁽³⁾кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»,

⁽⁴⁾доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Физика»

В эксперименте по лазерной модуляционно-интерференционной фазовой микроскопии было получено, что в тонком (10...20 мкм) слое дистиллированной воды присутствуют частицы микронного масштаба с оптической плотностью меньше оптической плотности самой воды (рис. 1), которые можно считать квазистабильными, т.к. они сохраняют свою форму все время наблюдения (десятки минут). С увеличением содержания в водном образце растворенных ионов концентрация этих частиц растет. Измерения электрокинетических характеристик этих частиц указывают, что они имеют отрицательный заряд [1].

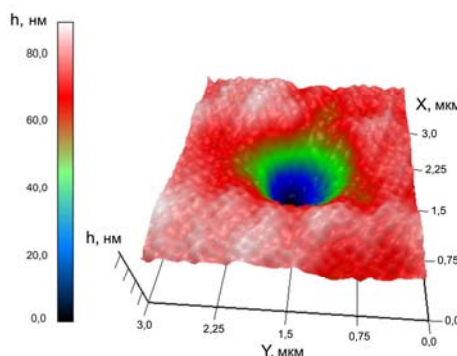


Рис. 1. Распределение оптической плотности на микронном пузырьке

Из теоретической модели, предложенной в [2], следует, что такими частицами могут быть микронные пузыри, либо кластеры микронного размера, составленные из нанопузырьков растворенного воздуха. Такие нанопузырьки в объеме жидкости, получившие название «бабстоны» (утвердившаяся в литературе аббревиатура bubble stabilized by ions), могут возникать и стабилизироваться за счет компенсации сил поверхностного натяжения отрицательным кулоновским давлением, возникающим вследствие селективной адсорбции на поверхности пузырька ионов одного знака; т.о. пузырек приобретает механическую и диффузионную устойчивость.

Эксперимент по измерению матрицы рассеяния света, проведенный с использованием лазерного скаттерометра с длиной волны 532 нм в объемных образцах воды и водных растворов NaCl, показал, что в них, действительно, находятся частицы микронного масштаба. С помощью микрообъектива были также сделаны фотографии распространения лазерного луча в исследованных образцах (рис.2), на которых ясно различимы рассеиватели Ми.

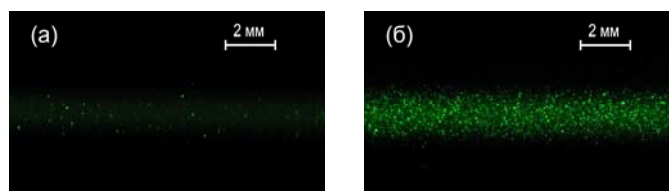


Рис. 2. Фотографии трека лазерного луча в дистиллированной воде (а) и водном 0,8М растворе NaCl (б)

Матрица рассеяния F_{ij} размерностью (4x4) связывает между собой состояния поляризации света, заданные векторами Стокса, до и после рассеяния на частицах исследуемой среды. В частности, элемент F_{11} - индикатриса рассеяния, пропорциональная дифференциальному сечению рассеяния. Анализ зависимостей F_{ij} от угла рассеяния показал, что они не соответствуют рассеянию на монолитных воздушных сферах, а могут быть лучше всего аппроксимированы рассеянием на ансамбле кластеров из полидисперсных воздушных наносфер, обладающих логнормальными распределениями по размерам с эффективным радиусом $r_{\text{eff}} = 70\text{-}100$ нм и относительной шириной $v_{\text{eff}} = 0.01\text{-}0.04$. На рис.3 изображена одна из случайных компьютерных реализаций такого кластера, образованного по баллистическому механизму агрегации типа «частица-кластер».

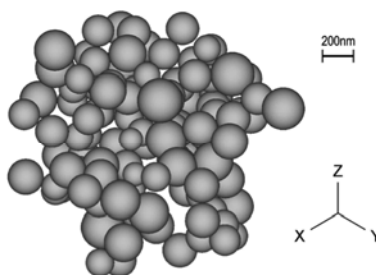


Рис. 3. Компьютерная стохастическая модель кластера нанопузырьков с $r_{\text{eff}} = 90$ нм и $v_{\text{eff}} = 0.02$

Модели бабстонных кластеров, построенные на основе экспериментальным данных по угловым профилям матрицы рассеяния, имеют характерный радиус ~ 0.5 мкм и фрактальную размерность в пределах 2.5-2.8. Исходя из среднего значения сечения рассеяния этих кластеров, была оценена их концентрация в дистиллированной воде $\sim 10^3 \text{ см}^{-3}$, в водном 0.8 М растворе NaCl $\sim 2 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$.

Литература

1. Бункин Н.Ф., Игнатьев П.С., Индукаев К.В., Суязов Н.В., Шкирин А.В. Кластерная структура стабильных нанопузырей растворенного газа в глубоко очищенной воде. // ЖЭТФ. – 2009, Т. 135. – № 5. – С. 917-937.
2. Bunkin N.F., Ninham B.W., Babenko V.A., Suyazov N.V., Sychev A.A. Role of Dissolved Gas in Optical Breakdown of Water: Differences between Effects Due to Helium and Other Gases. // J. Phys. Chem. B. – 2010, V.114. – P. 7743-7752.
3. Bunkin N.F., Ninham B.W., Ignatiev P.S., Kozlov V.A., Shkirin A.V., Starosvetskij A.V. Long-living nanobubbles of dissolved gas in aqueous solutions of salts and erythrocyte suspensions. // J. Biophotonics. – 2011, V. 4. – № 3. – P. 150-164.