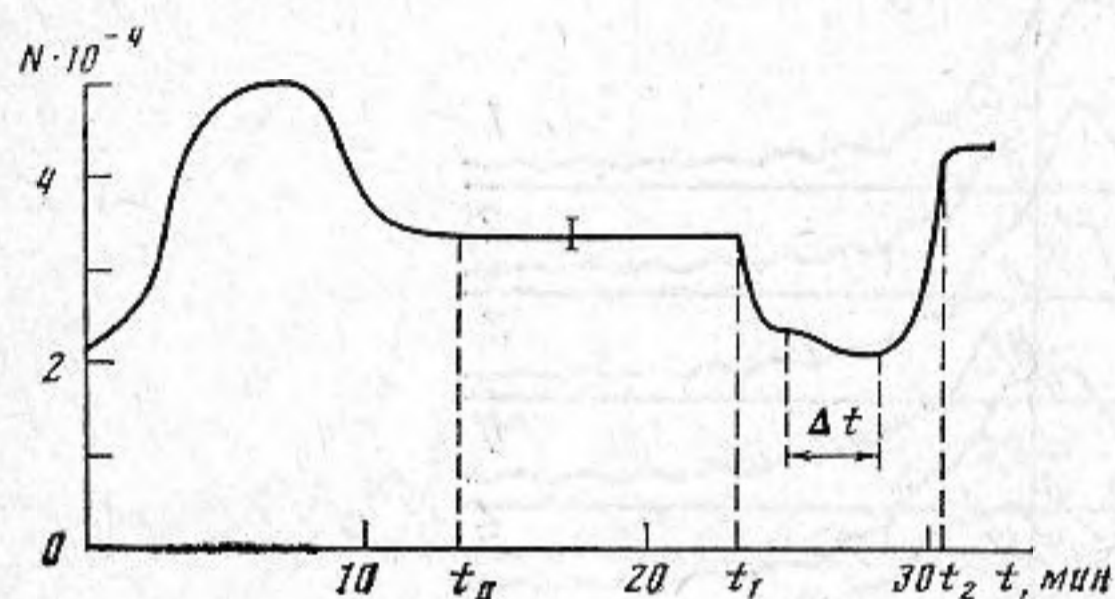


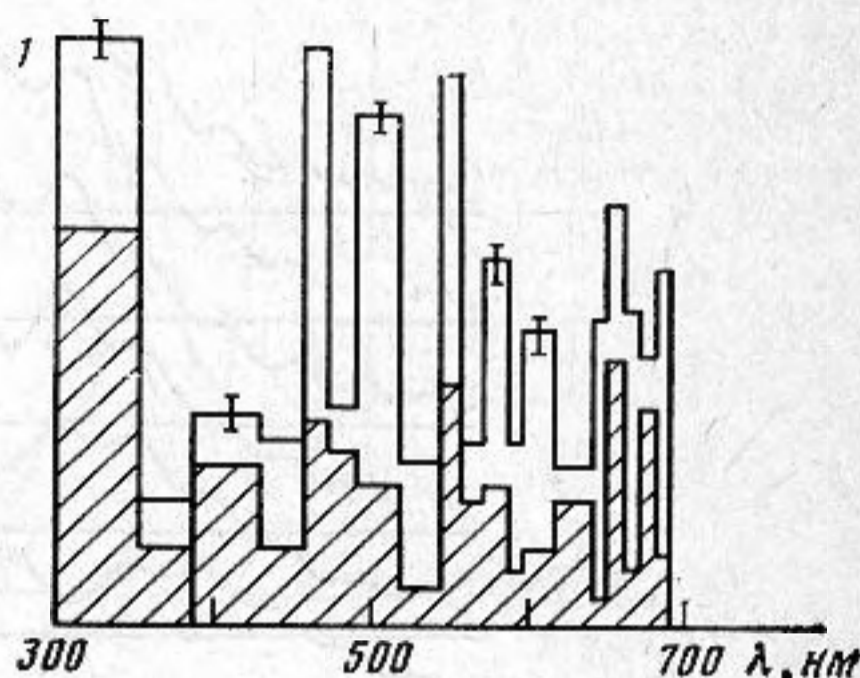
ВЛИЯНИЕ КИСЛОРОДА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ И СПЕКТР УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ВОДЫ

Петухов Ю. В., Чернов В. В., Ягутов Э. В.

До настоящего времени остается невыясненным механизм свечения воды (флуоресценция) под действием ультразвуковых колебаний низкой интенсивности (ниже 1 вт/см^2) [1]. При высоких интенсивностях ультразвука (выше 5 вт/см^2) [1, 2] и других высокоинтенсивных процессах возбуждения кавитации [3, 4] свечение, по-видимому, обусловлено излучением содержимого газонаполненных полостей, схлопывающихся при определенной разнице давлений. Важной характеристикой флуоресценции воды является спектр излучения, который при высоких интенсивностях ультразвука представляется сплошным [1], а при низких интенсивностях имеет дискретную структуру [5]. Такое различие в формах спектра, возможно, обусловлено преобладанием различных механизмов свечения при низких и высоких интенсивностях ультразвука. Поэтому изучение спектральных характеристик свечения



Фиг. 1



Фиг. 2

Фиг. 1. Зависимость интегрального уровня свечения от времени. N — количество фотоотчетов за 10 с. Ошибка измерения отмечена вертикальным отрезком на кривой. Горизонтальная линия отмечает темновой фон ФЭУ-79

Фиг. 2. Спектр ультразвуковой флуоресценции дистиллированной воды, усредненный по двенадцати измерениям. Спектры излучения нормированы на уровень в полосе $300 \div 350 \text{ нм}$ для чистой дистиллированной воды; вертикальными отрезками указаны отклонения от средних значений

воды, а также идентификация определенных участков спектра со спектрами излучения растворенных в ней веществ и газов представляется важным для выяснения причин свечения не только воды, но и других жидкостей.

Данная работа посвящена дальнейшему изучению спектра флуоресценции воды при низких интенсивностях ультразвука $\approx 0,5 \text{ вт/см}^2$ на частоте 530 кГц ; а именно рассмотрено влияние кислорода O_2 на интегральный уровень свечения и его спектр.

Экспериментальная установка, использованная при проведении исследований, описана в [5]. Спектр свечения определяется при помощи набора оптических граничных светофильтров. В качестве приемника излучения использовался фотоумножитель ФЭУ-79, работающий в одноэлектронном режиме. Удаление кислорода O_2 осуществлялось добавлением в кювету с дистиллированной водой объемом $0,9 \text{ см}^3$ одного миллиграмма соли Na_2SO_3 : $2\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 = 2\text{Na}_2\text{SO}_4$. Уменьшение концентрации O_2 в воде контролировалось широко используемым в практике полярографом, стрелка которого сразу же после добавления Na_2SO_3 устанавливалась на нулевой отметке.

Зависимость интегрального уровня свечения от времени приведена на фиг. 1. Начальный всплеск свечения обусловлен наличием большого количества пузырьков в только что налитой в кювету дистиллированной воде. Следовательно, свечение, несомненно, связано с наличием в воде пузырьков. С течением времени среднее количество пузырьков в единице объема устанавливается неизменным и свечение жидкости выходит на стационарный уровень $t > t_0$ (см. фиг. 1), которому соответствует спектр, приведенный на фиг. 2 незаштрихованной областью. Как видно, спектр свечения имеет четко выраженную дискретную структуру, которая становится менее заметной при увеличении интенсивности ультразвука. В момент $t = t_1$ в воду добавлялась соль Na_2SO_3 , что приводило к меньшему интегральному уровню свечения за время Δt (см. фиг. 1), спектр которого приведен на фиг. 2 заштрихованной областью. Из сравнения спектров фиг. 2 следует, что особенно заметные изменения их формы наблюдаются в длинноволновой области $\lambda > 450 \text{ нм}$; в ультрафиолетовой области $\lambda < 425 \text{ нм}$ форма спектра практически не изменяется. Действительно, интегральный уровень свечения уменьшился всего лишь на 30% , в то время

как интенсивность свечения на длинах волн $\lambda \approx 612 \div 650$ нм, где существенны линии кислорода [6], уменьшилась почти на порядок.

Дискретная структура спектра флуоресценции воды, идентификация его длинноволновых областей с растворенными в воде газами, а также неизменность его формы в ультрафиолетовой области, где расположен максимум спектра, позволяют заключить, что на низких интенсивностях ультразвука термический механизм свечения [2] не является доминирующим. Более того, расчеты показали отсутствие схлопывания пузырьков различных размеров при соответствующей разнице давлений. Механизм свечения на низких интенсивностях ультразвука, несомненно, связан со структурой жидкости, в частности на границе раздела пузырька, о чем свидетельствует неизменность формы спектра в ультрафиолетовой области. Механизм свечения вследствие электрических разрядов, которые имеют место при образовании двойного электрического слоя (одна обкладка слоя располагается непосредственно на границе пузырька, а другая внутри него [7, 8]) предпочтительнее, поскольку действие этого механизма связано как со структурой воды вблизи поверхности пузырька, так и со свойствами растворенных в воде газов. С увеличением интенсивности ультразвука роль теплового механизма свечения [2] будет усиливаться, о чем свидетельствует спектр излучения, который становится более сплошным.

Через определенный промежуток времени Δt (см. фиг. 1) интегральный уровень свечения увеличивается и при $t > t_2$ достигает стационарного уровня, несколько превышающего уровень при $t_0 < t < t_1$. Это объясняется диффузией кислорода воздуха в воду, которая восстанавливает его исходную концентрацию. Наличие соли Na_2SO_4 делает воду электролитом, что, как известно [1], приводит к увеличению свечения. В результате наблюдается некоторое превышение исходного стационарного уровня свечения.

В заключение отметим, что добавление в воду несколько больших количеств Na_2SO_3 , например 3÷5 мг, приводит к резкому увеличению интегрального уровня свечения, что согласуется с результатами экспериментальных исследований, выполненных в [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлев А. И., Аюбян В. Б. Ультразвуковое свечение. М.: Наука, 1977.
2. Голубничий П. И., Гончаров В. Д., Протопопов Х. В. Сонолюминесценция в жидкостях, влияние растворенных газов, отступление от тепловой теории.— Акуст. журн., 1969, т. 16, № 3, с. 534–541.
3. Акманов А. Г., Беньковский В. Г., Голубничий П. И. Исследование лазерной сонолюминесценции.— Акуст. журн., 1973, т. 19, № 5, с. 649–652.
4. Беньковский В. Г., Голубничий П. И., Масленников С. И. Импульсы электрогидродинамической сонолюминесценции, сопровождающей высоковольтный электрический разряд в воде.— Акуст. журн., 1974, т. 20, № 1, с. 23–26.
5. Горский С. М., Клемин В. А., Чернов В. В. О некоторых особенностях спектра ультразвуковой флуоресценции воды. Акуст. журн., 1980, т. 26, № 3, с. 459–462.
6. Зайдель А. М. и др. Таблицы спектральных линий. М.: Наука, 1977.
7. Degrois M., Baldo P. A new electrical hypothesis explaining sonoluminescence, chemical actions and other effects produced in gaseous cavitation.— Ultrasonics, 1974, v. 12, № 1, p. 25–28.
8. Кузьмин В. Л., Русанов А. И. О двойном электрическом поле на поверхности полярных жидкостей.— Коллоид. журн., 1977, т. 39, № 3, с. 455–459.
9. Negishi K. Experimental studies on sonoluminescence and ultrasonic cavitation.— J. Phys. Soc. Japan, 1961, v. 6, № 6, p. 1450–1456.

Институт прикладной физики
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
12.III.1984

УДК 534

О ВЛИЯНИИ ПУЗЫРЬКОВ ГАЗА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ЗВУКА

Полякова А. Л., Сильвестрова О. Ю.

Наличие пузырьков газа в воде может приводить к значительным изменениям в работе параметрического излучателя звука [1–4]. Увеличение концентрации пузырьков газа приводит к возрастанию нелинейного параметра воды, коэффициента поглощения звука и к появлению дисперсии скорости звука [5, 6]. При формировании низкочастотного сигнала в параметрическом излучателе эти факторы работают в противоположных направлениях, причем их вклад оказывается различным в зависимости от частоты и амплитуды волны накачки.

При анализе влияния пузырьков на характеристики параметрического излучателя часто используются модели, позволяющие описать работу этого излучателя в предельных режимах. В данной работе теоретический анализ проводится на основе метода, предложенного в [7], который позволяет провести численный расчет поля