

03:09;10

Динамика интенсивности многопузырьковой сонолюминесценции

© Д.А. Бирюков¹, Д.Н. Герасимов²¹ Объединенный институт высоких температур РАН, Москва² Национальный исследовательский университет „МЭИ“, Москва

E-mail: deniger@mail.ru

Поступило в Редакцию 27 декабря 2016 г.

Представлены экспериментальные данные, свидетельствующие о корреляции интенсивности сонолюминесценции в различных точках сосуда. После выключения ультразвукового генератора сонолюминесценция исчезает за время ~ 0.1 s, в то время как проводимость жидкости несколько минут остается на прежнем уровне. Таким образом, наличие ионов в жидкости не является единственной причиной сонолюминесценции.

DOI: 10.21883/PJTF.2017.11.44695.16649

После открытия явления однопузырьковой сонолюминесценции (СЛ) [1] исследования свечения жидкостей под воздействием ультразвука сместились в основном в этом направлении. Однако некоторые принципиально важные вопросы физики СЛ могут быть исследованы именно на многопузырьковой СЛ.

В работе [2] было обнаружено, что явление СЛ в глицерине сопровождается появлением разности потенциалов между титановым ультразвуковым (УЗ) волноводом и медным электродом, погруженным в жидкость. После выключения УЗ-генератора указанная разность потенциалов не снижалась мгновенно до нуля, а напротив, продолжала еще некоторое время расти. Подобный эффект был объяснен в [2] возникновением в жидкости проводимости за счет появления в ней свободных зарядов. Целью данных исследований является установление причинно-следственной связи между наличием в жидкости данных зарядов и собственно сонолюминесценцией.

В настоящей работе исследования проводятся на установке, подробно описанной в [3]. Для проверки результатов [2] использовался кондуктометр SanXin SX823. Датчик кондуктометра размещался под

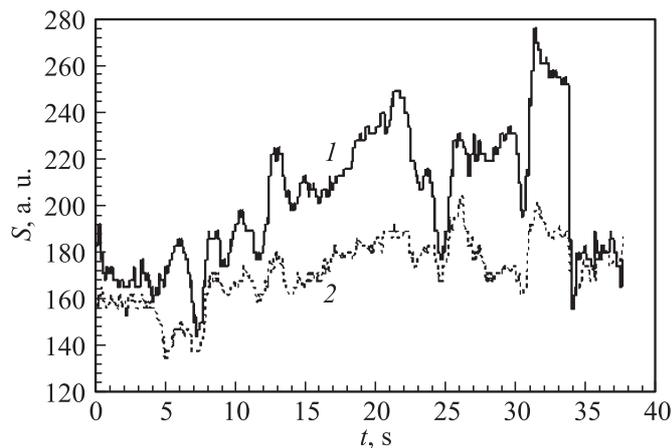


Рис. 1. Интенсивность свечения в верхней (1) и центральной (2) частях сосуда в зависимости от времени.

титановым УЗ-волноводом на расстоянии ~ 6 mm; при включении УЗ-генератора проводимость жидкости начинала расти; после выключения генератора проводимость также продолжала расти (в течение ~ 1 min) и лишь затем спадала. Перед запуском УЗ-генератора проводимость глицерина составляла $0.00 \mu\text{S}/\text{m}$; максимальная зарегистрированная проводимость глицерина имела значение $\sigma = 0.09 \mu\text{S}/\text{cm}$. Таким образом, выводы [2] находят подтверждение путем непосредственных измерений. Полученное значение проводимости позволяет определить объемную концентрацию ионов в жидкости: согласно [4], подвижность различных ионов в глицерине есть величина порядка $\mu \sim 10^{-10} \text{S} \cdot \text{m}^2/\text{C}$, отсюда получаем число ионов в единице объема жидкости $n = \sigma/e\mu \sim 10^{18} \text{cm}^{-3}$. Заметим, что наличие ионов в жидкости при явлении СЛ определено и в [5] спектроскопическими методами.

Как описано в [2], СЛ состоит из свечения на УЗ-волноводе и излучения, испускаемого из объема жидкости, причем ближе к УЗ-волноводу интенсивность СЛ выше (см. рис. 1 в [2]); подобный факт можно было бы объяснить эмиссией заряженных частиц из прилегающей к УЗ-волноводу области в объем жидкости. Эксперименты показывают,

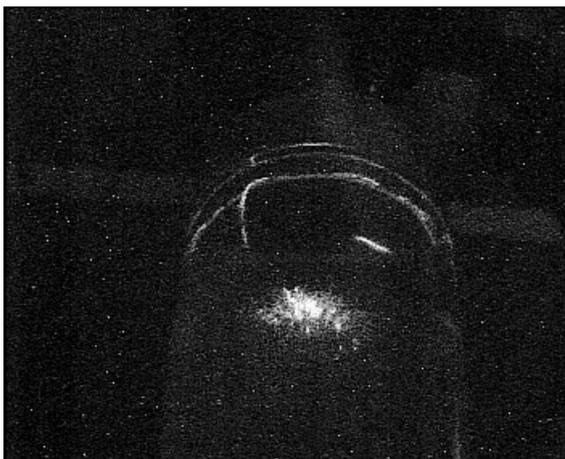


Рис. 2. Многопузырьковая сонолюминесценция.

что интенсивность излучения из объема глицерина растет, по крайней мере, до тех пор, пока он остается достаточно холодным (до температур $\sim 50^\circ\text{C}$). Вопрос заключается в том, является ли причиной этого роста только описанное выше повышение проводимости жидкости или существуют еще какие-либо факторы.

Если свечение на волноводе можно объяснить возникновением микрозарядов непосредственно на его поверхности (см. [2]), то причин свечения жидкости в объеме сосуда может быть две: 1) микропробои, возникающие в кавитационных полостях на УЗ-волноводе и приводящие к появлению заряженных частиц и в основном объеме жидкости; 2) процессы непосредственно в объеме жидкости. В первом случае, т.е. если СЛ определяется процессами только на УЗ-волноводе, динамика интенсивности свечения жидкости вблизи УЗ-волновода должна заметно отличаться от динамики СЛ в объеме жидкости. Меняя частоту УЗ-генератора (отстраивая ее от резонансного значения), можно видеть, что в действительности свечение в различных точках сосуда коррелирует, хотя свечение в верхней части сосуда ярче, чем в нижней.

На рис. 1 показаны кривые интенсивности свечения, полученные с помощью RGB-разложения видеосъемки камерой ADVERT-9346V: в качестве величины S на графике выступает сумма интенсивности всех трех цветов. Ход кривой 1 — интенсивности свечения в верхней части сосуда, рядом с УЗ-волноводом — хорошо соответствует динамике изменения зависимости 2 — интенсивности СЛ в центральной части сосуда, на расстоянии ~ 5 см от УЗ-волновода. Коэффициент корреляции между данными кривыми равен 0.798. Таким образом, интенсивность свечения изменяется синхронно в различных областях сосуда: вблизи УЗ-волновода и на заметном расстоянии от него. Следовательно, свечение в объеме сосуда не зависит напрямую от процессов на УЗ-волноводе.

Помимо рассмотренного выше режима с ярким свечением на УЗ-волноводе и более слабым свечением в жидкости, путем настройки частоты УЗ-генератора можно создать иной режим свечения (рис. 2): излучение испускается только из небольшого объема жидкости под УЗ-волноводом; на самом волноводе свечение практически отсутствует, за исключением хорошо различимого светящегося образования — постоянной СЛ в каверне титановой поверхности, подробно описанной нами в [3]; на рис. 2 также хорошо заметно свечение на кромке УЗ-волновода.

Единственной причиной, позволяющей и при подобной картине свечения утверждать решающую роль процессов непосредственно вблизи поверхности волновода, могла бы быть гипотеза о том, что весьма слабо светящиеся пузырьки все равно рождаются на поверхности УЗ-волновода, а затем сносятся в область, где высокая их концентрация делает свечение хорошо заметным. В этом случае свечение должно обладать определенной инерцией; данный факт можно проверить экспериментально.

Регистрация излучения осуществлялась фотодатчиком Hamamatsu S2281-01 с усилителем C9329, сигнал записывался на осциллограф АК ИП 4115/5А. На рис. 3 представлена динамика интенсивности многопузырьковой СЛ. УЗ-генератор включался в момент времени A ; задержка в быстром росте свечения, начинающемся лишь в момент времени B , наблюдается во всех экспериментах и всегда составляет ~ 1 с; она вызвана, по-видимому, вхождением магнитостриктора в рабочий режим. Далее интенсивность свечения

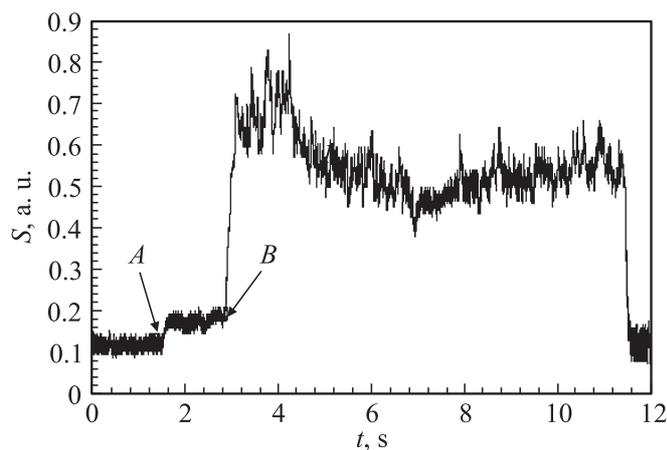


Рис. 3. Динамика интенсивности сонолюминесценции.

вырастает до примерно постоянного значения за ~ 0.2 с; немонотонность интенсивности вызвана собственно пульсациями СЛ. Наиболее важный факт заключается в том, что после выключения УЗ-генератора интенсивность свечения падает до нуля за время ~ 0.1 с; данное время является оценкой сверху возможной инерции свечения.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что сонолюминесценция в объеме жидкости определяется комбинацией наличия в ней заряженных частиц и воздействия ультразвука. Гипотезы, предполагающие причиной свечения электрические пробой внутри квазистатических пузырьков, недостаточны: в момент выключения УЗ-генератора проводимость жидкости заметным образом не изменяется (ионы не рекомбинируют сразу же), в то время как свечение исчезает весьма быстро (за ~ 0.1 с). Следовательно, важную роль в эмиссии света играют процессы, протекающие в УЗ-поле: либо колебания пузырьков, либо процессы в самой жидкости, например, приводящие к созданию внутри нее под действием ультразвука упорядоченных микроструктур — искусственных центров люминесценции.

Работа поддержана грантом РФФИ № 31-16-38-60141/15.

Список литературы

- [1] *Gaitan D.F., Crum L.A., Church C.C., Roy R.A.* // J. Acoust. Soc. Am. 1992. V. 6. N 6. P. 3166–3183.
- [2] *Бирюков Д.А., Герасимов Д.Н., Синкевич О.А.* // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40. В. 3. С. 90–94.
- [3] *Biryukov D.A., Gerasimov D.N.* // Triboluminescence: Theory, Synthesis and Application / Ed. D.O. Olawale et al. Springer, 2016. 454 p.
- [4] *Kameche M., Bouamrane R., Derriche Z., Blanco M.C.* // Mol. Phys.: Int. J. Interface Between Chem. Phys. 2014. V. 103. N 9. P. 1231–1239.
- [5] *Шарипов Г.Л., Абдрахманов А.М., Гареев Б.М.* // ЖТФ. 2013. Т. 83. В. 2. С. 107–110.