

ВРЕМЯ-КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ СЧЕТ ФОТОНОВ КАК МЕТОД РАЗДЕЛЕНИЯ И АНАЛИЗА СВЕТОВЫХ ПРОЦЕССОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ В КАВИТАЦИОННОМ ОБЛАКЕ НА ПРИМЕРЕ РАСТВОРА CeCl_3

Казачек М.В., Гордейчук Т.В.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток
tanya@poi.dvo.ru*

Сонолюминесценция – слабое свечение жидкости в ультразвуковом поле, обусловленное способностью кавитационных пузырьков эффективно концентрировать энергию звука при нелинейном коллапсе [1]. Спектр свечения имеет непрерывный континуум от ближней от УФ до ИК области. В спектрах водного раствора CeCl_3 на фоне континуума наблюдается полоса иона Ce^{3+} в области 360 нм. Процессы возбуждения могут проходить как неупругими соударениями частиц в горячей плотной среде внутри пузырька (собственно сонолюминесценция - СЛ), так и в объеме раствора за счет поглощения СЛ фотонов (сонофотолуминесценция – СФЛ). Вспышки СЛ ультракороткие, ограниченные временем адиабатической фазы коллапса пузырьков, длятся менее 1 нс [2]. Длительность вспышки СФЛ должна соответствовать времени жизни люминесценции Ce^{3+} . Определённое с помощью счётчика фотонных корреляций время жизни люминесценции Ce^{3+} подтверждает СФЛ природу эмиссии Ce^{3+} в кавитационном облаке.

Подробное описание экспериментальной установки и методики корреляционных измерений даны ранее [3]. Установка (рис. 1) включает блок для измерения спектров многопузырьковой СЛ (1) и блок для измерения спектров фотонных корреляций (2). В работе использовали 0,1 М раствор CeCl_3 в дистиллированной воде, насыщенный аргоном, температура 10°C. Использовали ультразвук частотой 20 кГц, мощностью 18 Вт. Для регистрации оптических спектров использовали спектрофотометр СФ-23, монохроматор МДР-23 и фотоумножители ФЭУ-79.

На рисунке 2 представлены спектры пропускания, люминесценции и СЛ раствора 0.1 М CeCl_3 , а также для сравнения

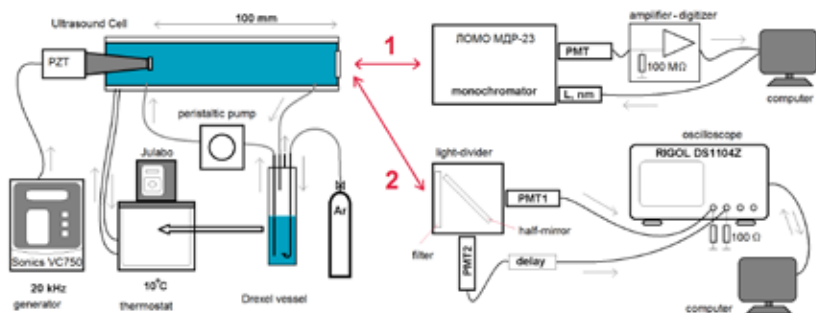
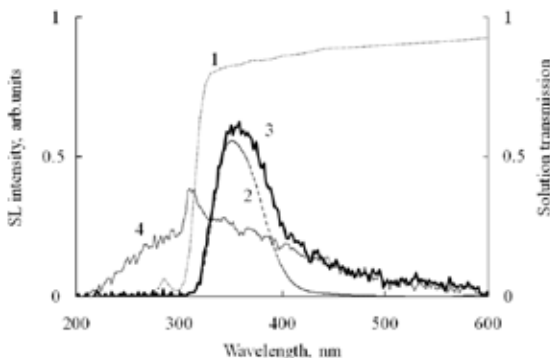


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

спектр СЛ дистиллированной воды. Последний содержит континуум с максимумом около 340 нм и пик гидроксил-радикала ОН (~310 нм). Спектр СЛ CeCl_3 в красной области повторяет спектр СЛ воды, в УФ области имеет превышение около 360 нм, связанное с люминесценцией иона Ce^{3+} . В дальней УФ области спектр обрзан вследствие поглощения большой толщиной раствора (10 см). Спектр люминесценции получен при облучении раствора лампой ДДС-30 в 1-сантиметровой кварцевой кювете, расположенной перед входной щелью монохроматора.

Время-коррелированный счёт фотонов (TCSPC) – регистрация временных задержек между отдельными фотонами, испускаемыми во время световых вспышек. Светоделитель использовали для разделения светового потока на два канала детектирования с помощью ФЭУ. Запись временных меток фотонов с дискретизацией 2 нс производили с помощью осциллографа RIGOL DS1104z, компьютера и авторского ПО [4].

Рис. 2. Оптические спектры водного раствора 0.1 М CeCl_3 : пропускания (1), люминесценции (2), солюлюминесценции (3); спектр солюлюминесценции воды (4).



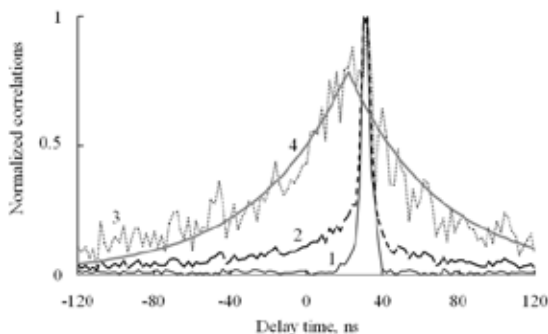


Рис. 3. Автокорреляционные спектры при СЛ водного раствора CeCl_3 : измеренные с желтым светофильтром (1), с фиолетовым светофильтром (2); разностный спектр (3); аппроксимированный разностный спектр (4)

континуума СЛ и люминесценции Ce^{3+} . Жёлтый фильтр пропускал только континуум СЛ ($\lambda > 500$ нм, кривая 1 (рис. 3)). Фиолетовый фильтр пропускал излучение в диапазоне 330-430 нм (континуум + люминесценция Ce^{3+} , кривая 2 рис. 3) [5]. Анализ показал наличие в кривой 2 двух компонент - узкой и широкой. Узкий пик соответствует коротким вспышкам СЛ, полуширина пика на полувысоте даёт длительность вспышки ~ 2 нс. Широкий пьедестал обусловлен более длительной люминесценцией Ce^{3+} (СФЛ компонента). Разностный спектр (кривая 3 рис. 3) получена вычитанием кривой 1 из кривой 2 для выделения сигнала Ce^{3+} . Её аппроксимация лапласовой кривой 4 даёт длительность процесса ~ 33 нс, что соответствует времени жизни люминесценции Ce^{3+} , полученного стандартными методами.

II. Корреляционный анализ. Спектры взаимных корреляций получены с одновременным использованием разных светофильтров в двух каналах счетчика корреляций и с последующим обменом фильтров местами. Два таких спектра взаимных корреляций (рис. 4) показывают, что СЛ (узкий пик) разделена по времени от СФЛ (боковые широкие пики). Из порядка следования узкой и широкой компонент получено, что вспышка СЛ предшествует вспышке СФЛ Ce^{3+} . Величина задержки между СЛ и СФЛ компонентами составила ~ 31 нс, что также соответствует времени жизни люми-

I. Автокорреляционный анализ. Измерение автокорреляционной функции заключалось в построении зависимости числа совпадений фотонов от времени задержки между ними (рис. 3). Использование светофильтров позволило разделить вклад в автокорреляционный спектр кон-

несценции Ce^{3+} [6].

Результаты работы подтверждают эффективность метода для временного разделения и анализа фотонных потоков различной природы в таком многокомпонентном явлении, как сонолюминесценция.

Работа выполнена в рамках госзадания № 124022100074-9.

Литература

1. Brennen C.E. Cavitation and bubble dynamics / Oxford University Press. 1995. 294 P.
2. Hiller R.A., Putterman S.J., Weninger K.R. Time-Resolved Spectra of Sonoluminescence // Phys. Rev. Lett. 1998. V. 80. № 5. P. 1090. DOI: 10.1103/PhysRevLett.80.1090.
3. Казачек М.В., Гордейчук Т.В. Определение длительности высвечивания щелочных металлов при многопузырьковой сонолюминесценции водных растворов их солей методом счета одиночных фотонов с временной корреляцией // Оптика и спектроскопия. 2024. Т. 132. № 11. С. 1181-1188. DOI: 10.61011/OS.2024.11.59508.7195-24.
4. Казачек М.В., Гордейчук Т.В. Счетчик корреляций на базе осциллографа и компьютера // Приборы и техника эксперимента. 2019. N. 1. С. 28-29. DOI: 10.1134/S0032816219010117.
5. Казачек М.В., Гордейчук Т.В. Определение времени жизни люминесценции Ce^{3+} методом время-коррелированного счета фотонов при сонолюминесценции водного раствора CeCl_3 // Оптика и спектроскопия. 2021. N 9. С. 1152-1156. DOI:10.21883/OS.2021.09.51343.2113-21.
6. Казачек М.В., Гордейчук Т.В. Особенности сонолюминесценции атомарного натрия в процессе пузырькового коллапса в кавитационном облаке методом время-корреляционного счета одиночных фотонов // Акустический журнал. 2024. Т. 70. № 4. С. 33-40. DOI: 10.31857/S0320791924040052.

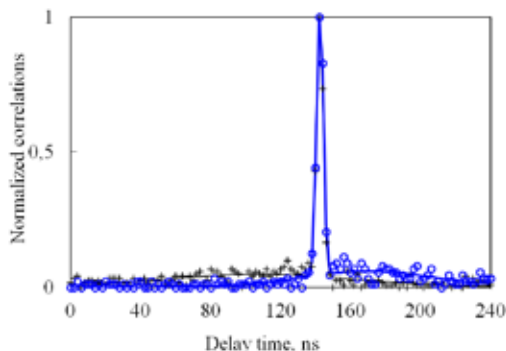


Рис. 4. Спектры фотонных корреляций (крестики, кружки) и их двухгауссовы аппроксимации (кривые) СЛ раствора 0.1 М CeCl_3 . Корреляции «континуум-металл» - кружки, жирная кривая; корреляции «металл-континуум» - крестики, тонкая кривая