

ОДНОПУЗЫРЬКОВАЯ СОНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

*Выполнил студент гр. ФРБ-502
Матюшенко Сергей*

*Научный руководитель
Болецкая Татьяна Константиновна*

Введение

Цель работы

- Изучить явление однопузырьковой сонолюминесценции.

Задачи

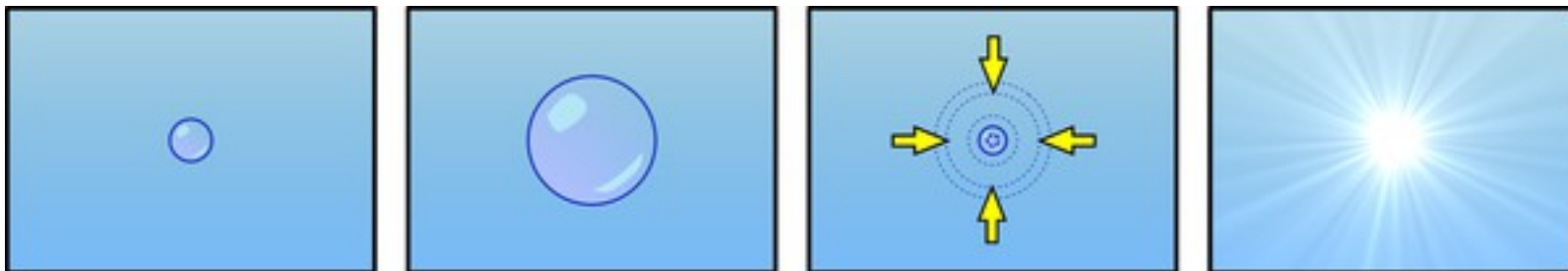
- Рассмотреть различные теоретические модели, предложенные для объяснения явления;
- Создать экспериментальную установку для наблюдения однопузырьковой сонолюминесценции.

Суть явления

Сонолюминесценция (звукolumинесценция) — явление возникновения вспышек света при схлопывании кавитационных пузырьков, рождённых в жидкости звуковой волной.

Выделяют:

1. Многопузырьковую сонолюминесценцию
2. Однопузырьковую сонолюминесценцию



История исследования

- 1934 – первые наблюдения сонолюминесценции Френцелем и Шультесом;
- 1940 – Я. И. Френкель, одна из первых попыток объяснения явления электрическими процессами внутри пузырька;
- 1950 – Б. Нолтинг и Е. Неппирас получили уравнение динамики для одиночного кавитационного пузырька;
- 1988 – Филипп Гайтон получил стабильный светящийся пузырёк в центре колбы за счёт акустического резонанса;
- 90-е годы XX века – Крам с сотрудниками смог получить стабильный левитирующий пузырёк в цилиндрической акустической камере;
- 2001 – Русси Талеархан заявил об осуществлении термоядерного синтеза при создании кавитационного пузырька в дейтерированном ацетоне (работа подвергнута жёсткой критике, учёный обвинён в фальсификации данных).

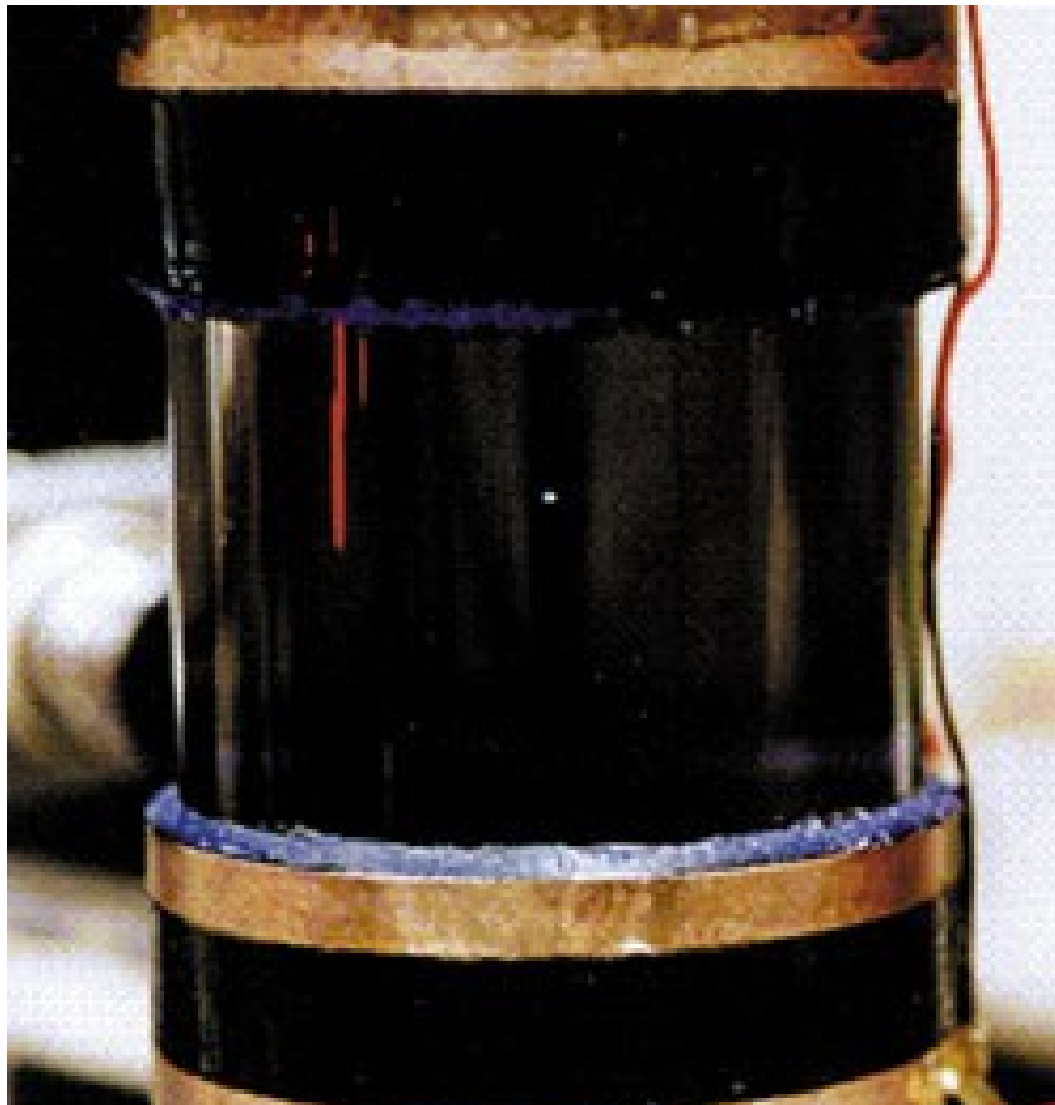


Рис. 1 Однопузырьковая сонолюминесценция в цилиндрической акустической камере, наблюдаемая Крамом в 1994 г.

Механизм сонолюминесценции

Тепловые теории

- Тепловая теория «горячего пятна»: газонаполненный пузырёк адиабатически схлопывается, в результате чего внутри него поднимается температура до 10 000 К и более, а возникающее свечение является равновесным излучением абсолютно чёрного тела);
- Термохимический механизм: возникает тепловая диссоциация молекул, а затем их рекомбинация, сопровождающаяся вместо теплового излучения хемилюминесценцией (свечение при медленном окислении).

Электрические теории

- Электрический пробой: в жидкости при кавитации возникают разрывы, а возникающие при этом не скомпенсированные заряды возникают на стенках пузырька вследствие флуктуации распределения ионов;
- Теория локальной электризации кавитационного пузырька: в жидкости у поверхности раздела с кавитационным пузырьком образуется двойной электрический слой, акустические потоки «смыывают» часть диффузного двойного слоя, пульсация пузырька приводит к деформациям сферической формы, в результате чего пузырёк расщепляется и происходит электрический пробой.

Многопузырьковая сонолюминесценция

- Полностью соответствует теории локальной электризации;
- Длительность соновспышки около 3 нс;
- Спектры СЛ растворов имеют ряд ярко выраженных максимумов соответствующих линий;
- Низкая интенсивность свечения;
- Чувствительна к добавкам благородных газов;
- Зарегистрирована в ртути и расплавах металлов.

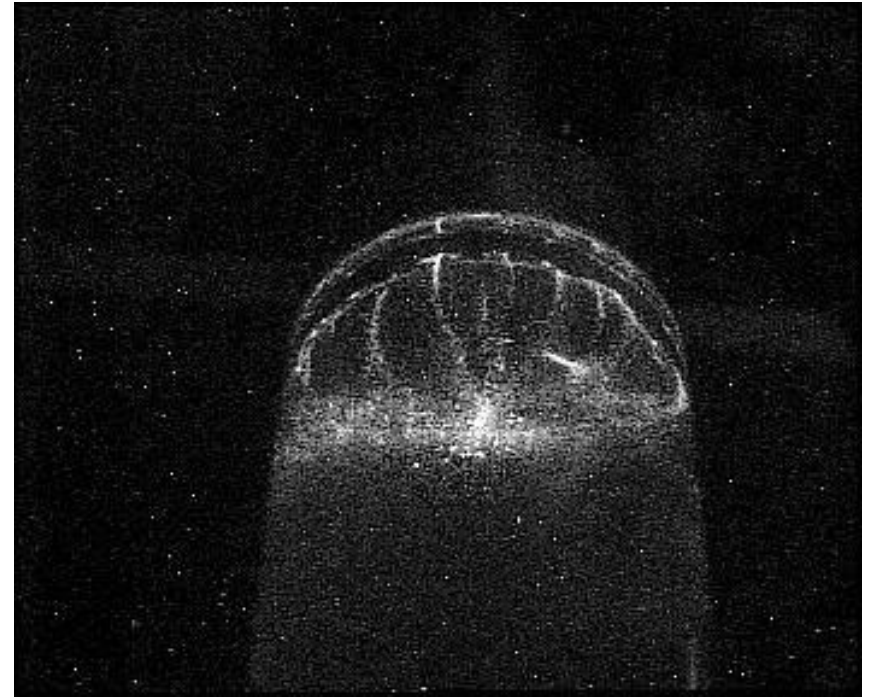


Рис. 2 Многопузырьковая сонолюминесценция в глицерине («Научно-исследовательский центр физико-технических проблем энергетики», Москва, 2016 г.)

Однопузырьковая сонолюминесценция

- Малая длительность соновспышки (100-350 пс);
- Очень чувствительна к добавкам благородных газов;
- Спектр излучения абсолютно чёрного тела;
- Температура в кавитационном пузырьке 50 000-100 000 К и даже выше;
- Высокая интенсивность свечения;
- Наличие мощных ударных волн;
- Момент соновспышки соответствует минимальному радиусу пузырька.



Рис. 3 Однопузырьковая сонолюминесценция в сферической акустической камере, полученная мною в 2018 г. (выдержка 30 с, ISO3200)

Экспериментальная установка

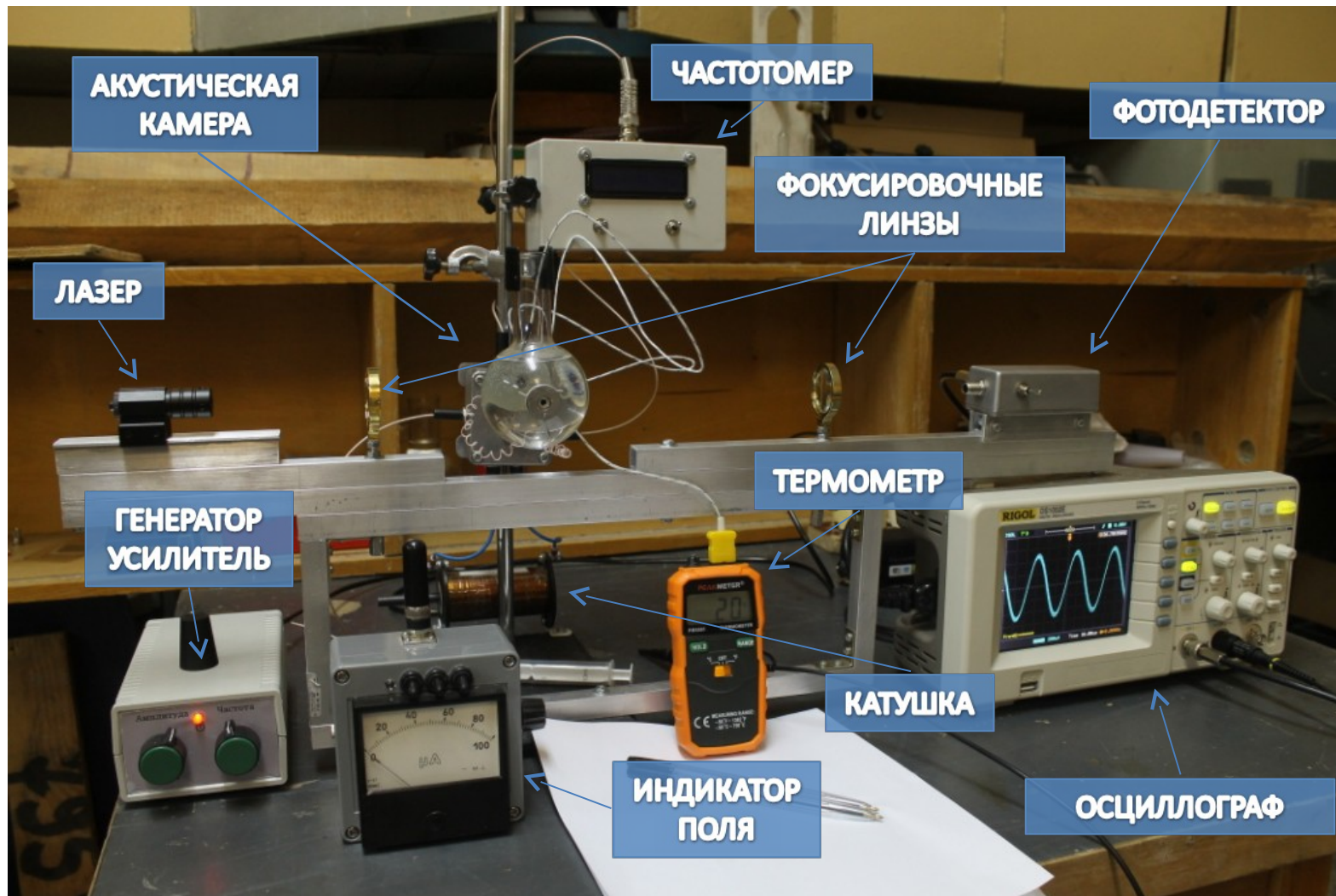


Рис. 4 Экспериментальная установка

Электрическая схема установки

Автор схемы:
Матюшенко Сергей
Омск, 2017

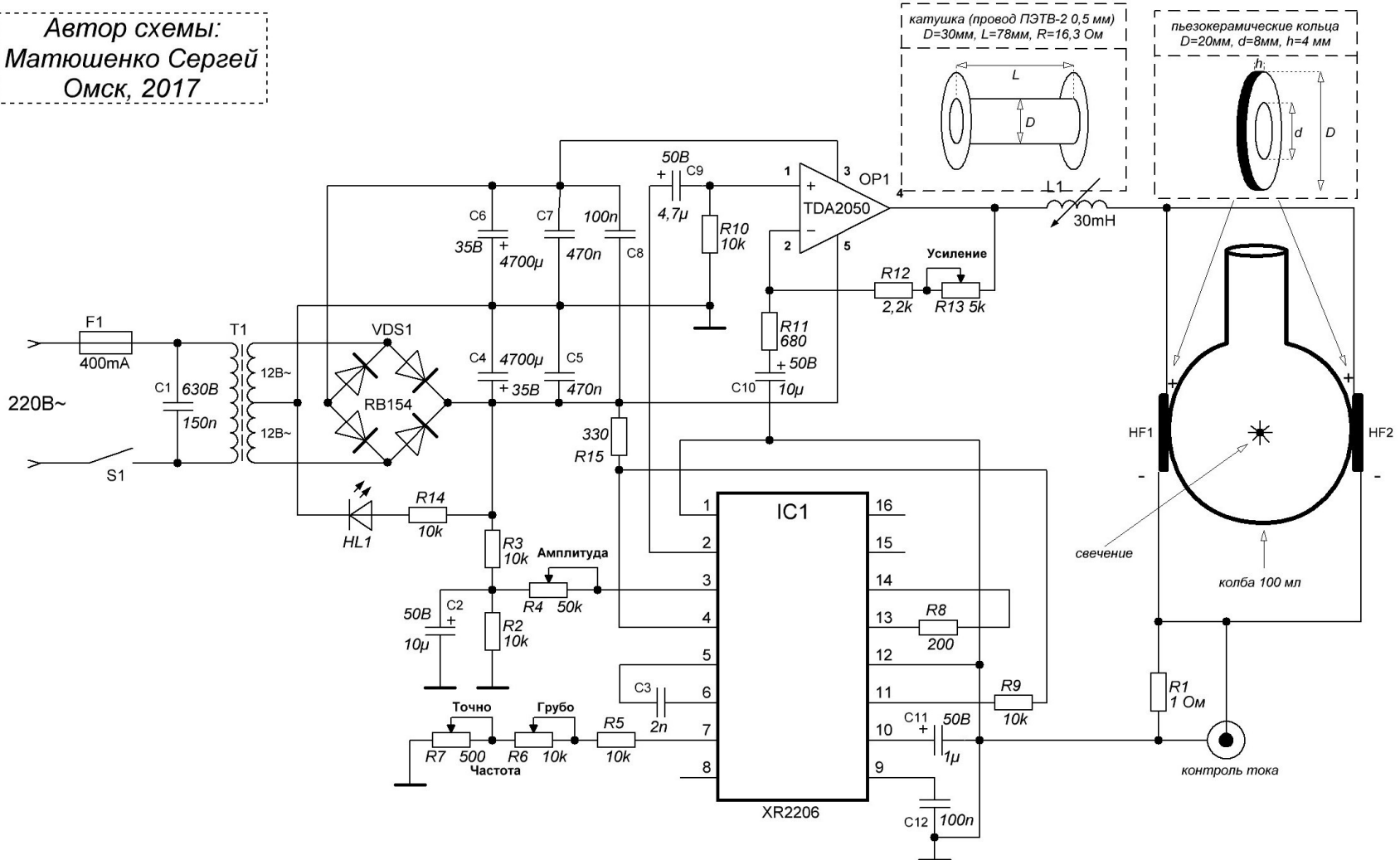


Рис. 5 Схема экспериментальной установки

Акустическая камера

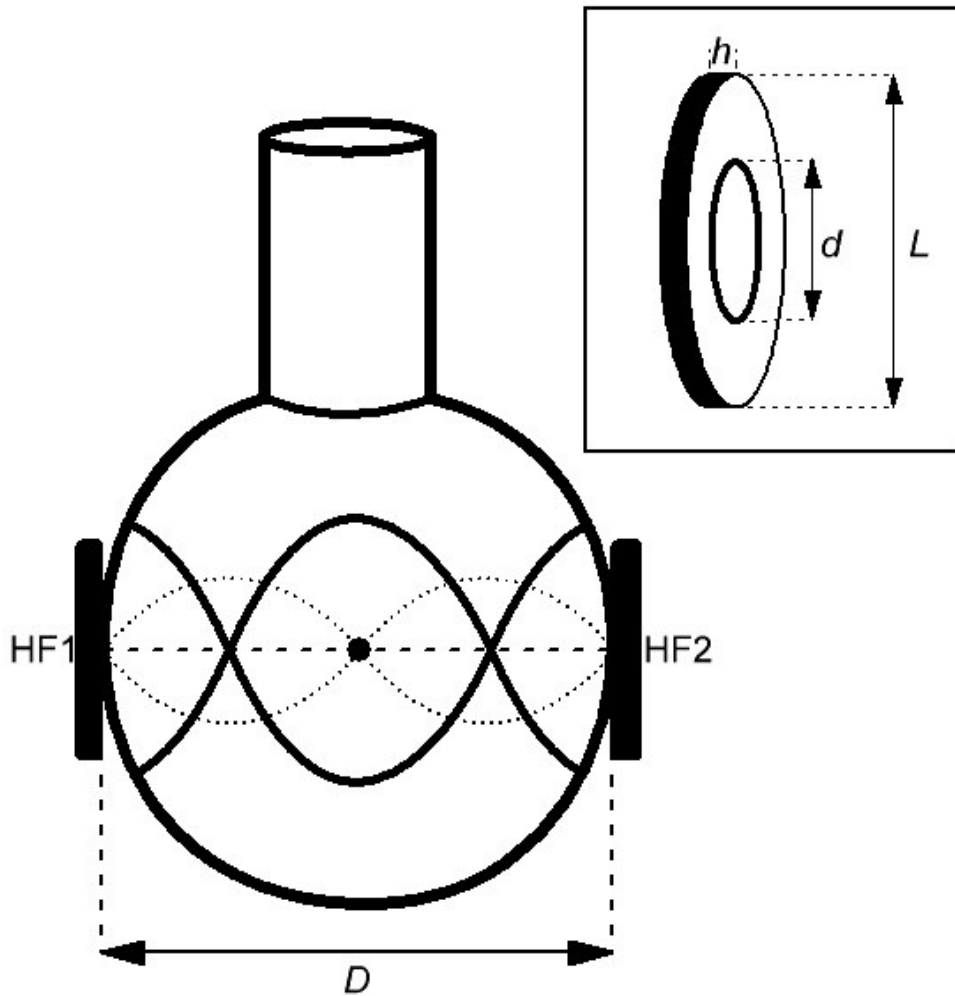


Рис. 6 Стоячая волна в колбе

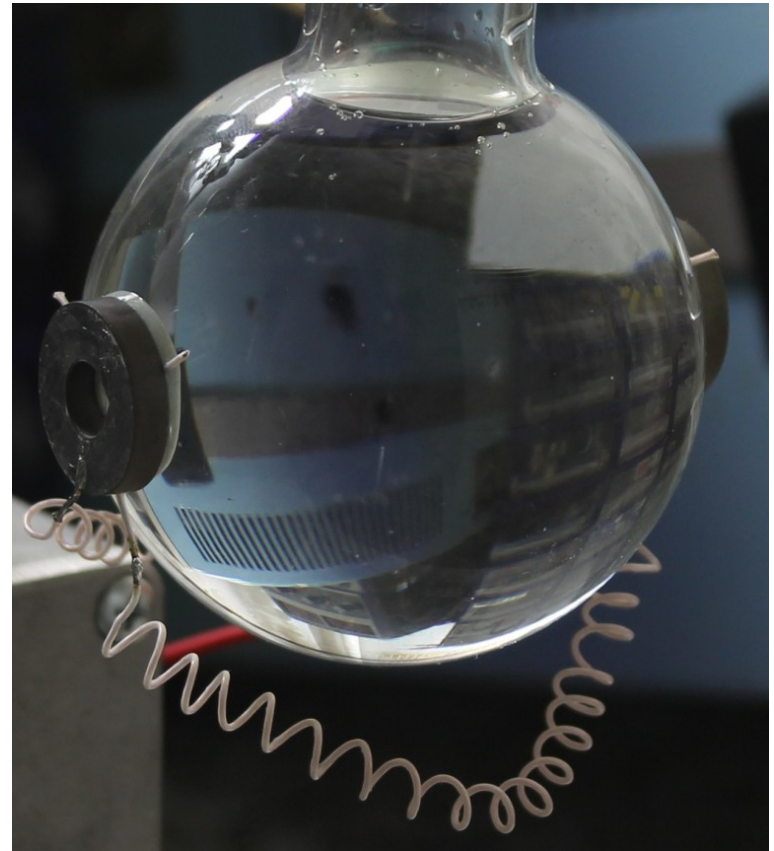


Рис. 7 Акустическая камера

Фотодетектор

- Схема:
преобразователь ток-напряжение на ОУ;
- Спектральная чувствительность при длине волны 850 нм:
28 кВ/Вт;
- Полоса пропускания:
1,6 МГц.

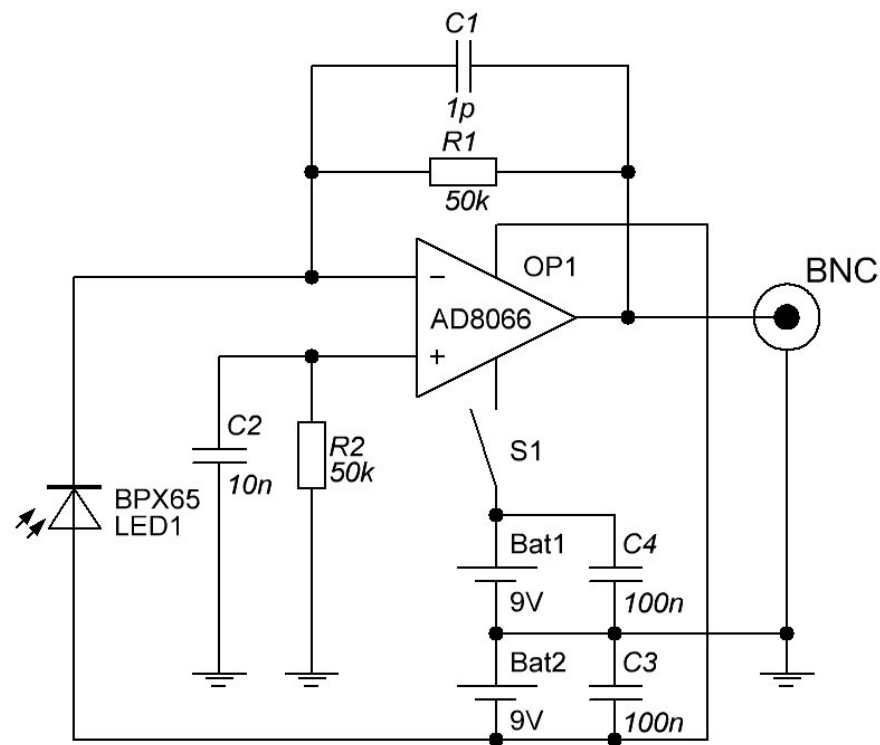


Рис. 8 Схема фотодетектора

Регистрация пульсаций



Рис. 9 Лазерный луч попадает в фотодетектор, проходя через колбу с водой и пульсирующий кавитационный пузырь

Пульсации пузыря



Рис. 10 Осциллограмма пульсаций пузыря (канал 1 – фотодетектор, канал 2 – пьезоэлектрические преобразователи)

Пульсации пузырька

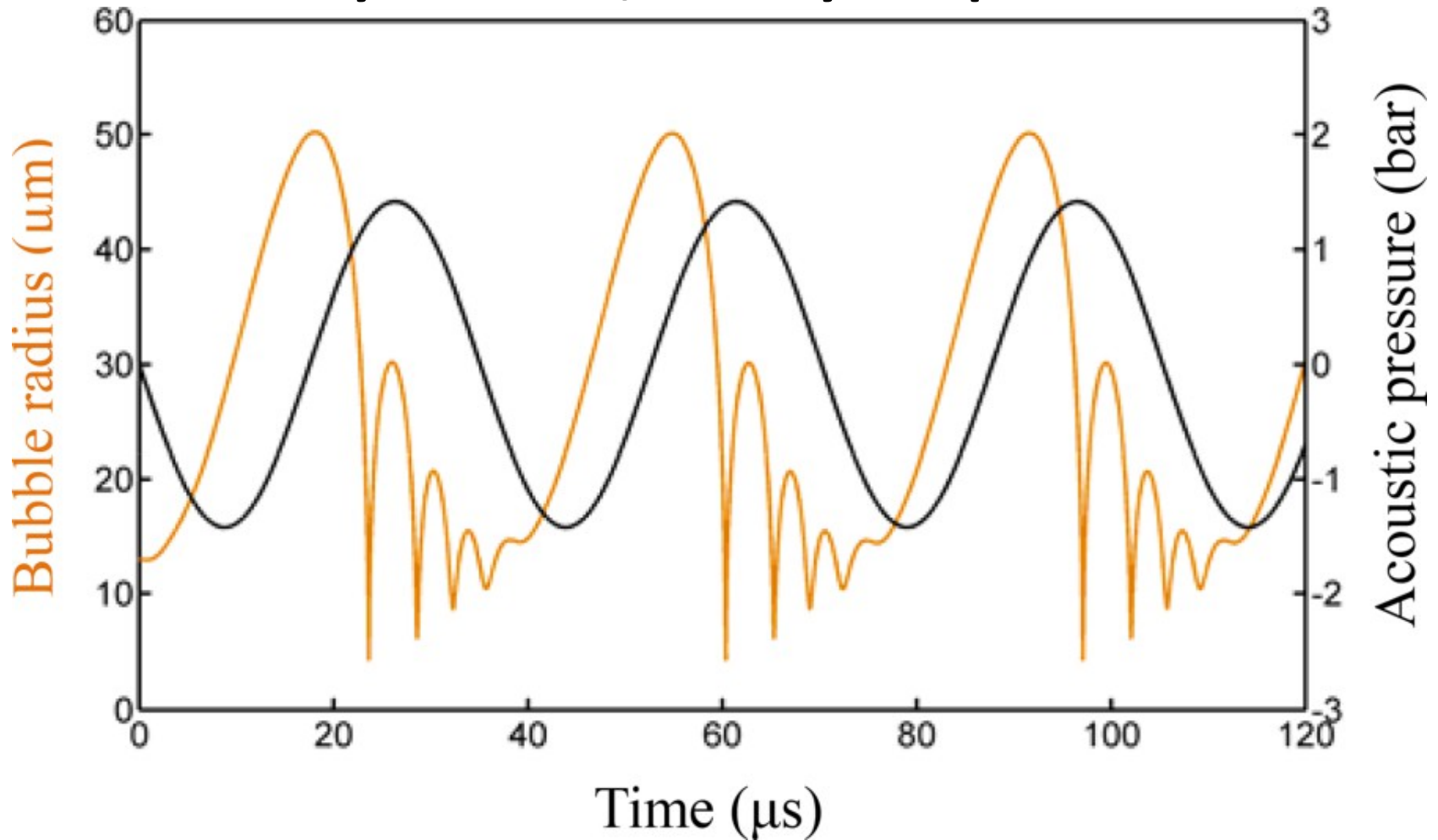


Рис. 11 Зависимость радиуса пузырька от времени и акустического давления

Заключение

- Проведён анализ теоретических моделей: многопузырьковая сонолюминесценция имеет электрическую природу, однопузырьковая – тепловую;
- Получено стабильное свечение одиночного пузырька в воде;
- Выявлена зависимость интенсивности свечения от температуры жидкости (при низкой температуре воды интенсивность свечения максимальна);
- При повышении температуры жидкости на 1 градус частота максимума свечения сдвигается на 40 Гц вверх по частоте;
- Частота, при которой наблюдается сонолюминесценция лежит в широких пределах (в данном случае 26500-27100 Гц);
- Ширина полосы частот, в пределах которой наблюдается свечение невооруженным глазом, может достигать 50 Гц.
- Обнаружено, что при высокой интенсивности звука сонолюминесценция становится нестабильной

Список литературы

- H. S. H. Frenzel, Luminescenz im ultraschallbeschickten Wasser, 1934.
- T. J. Marinesco M., Action des ultrasons sur les plaques photographiques, Paris, 1933.
- C. C. C. C. C. R. R. GaitanDF, «Acoustical Society of America,» 1992.
- М. М.А., «Сонолюминесценция, журнал "Успехи физических наук",» 2000.
- W. A. Steer, «Sonoluminescence,» 1997. [В Интернете]. Available: <http://techmind.org/sl/>.
- Ф. Г., Физическая акустика (ред. У. Мэзон, пер. с англ.), Т. 1, Ч. Б, с. 7, 1967.
- Смородов Е А, «Журнал физической химии,» 1986.
- Маргулис М А, «ДАН СССР 295 1170,» 1987.
- И. Е. Эльпинер, Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие, 1963.
- Sehgal C, «The Journal of Physical Chemistry A,» т. 84, № 396, 1980.
- Sehgal C, «The Journal of Physical Chemistry A,» т. 81, № 2618, 1977.
- J. P. D. A. J. Taylor K J, «Journal of Physics,» т. 29, № 319, 1970.
- П. С. П. Г. Т. В. Диденко Ю Т, «Оптика и спектроскопия,» т. 80, № 913, 1996.
- Т. М. Александров А.А., Теплофизические свойства воды при атмосферном давлении, 1977.

Надеюсь, было интересно!