

ЭФФЕКТ САМОПРОСВЕТЛЕНИЯ ДЛЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ЖИДКОСТИ С ПУЗЫРЬКАМИ ГАЗА

Ю.А.Кобелев, Л.А.Островский, А.М.Сутин

Сообщается об экспериментально обнаруженном эффекте самопросветления акустических волн в жидкости с пузырьками газа, заключающемся в том, что коэффициент затухания волны падает при возрастании ее интенсивности. Этот эффект обусловлен группировкой и слиянием пузырьков под действием сил Бьеркнеса.

Акустические явления в жидкости с пузырьками газа по физической сложности и многообразию можно сравнить, например, с электромагнитными эффектами в плазме. В такой двухфазной среде возможно, в частности, резонансное поглощение звука (аналог бесстолкновительного затухания) [1], а также наблюдалось формирование акустических солитонов [2]. Физика процесса особенно усложняется в тех случаях, когда акустическое поле меняет состояние газовой среды. Описанный ниже эффект самопросветления связан именно с таким воздействием.

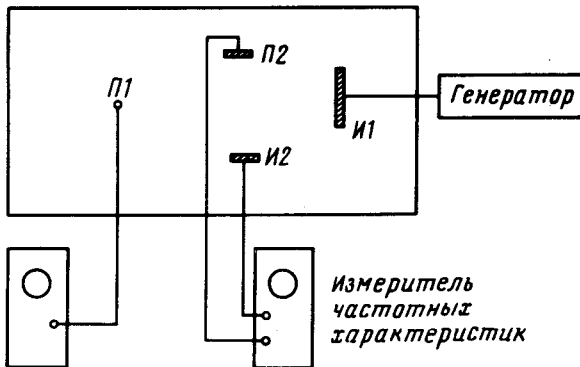


Рис. 1. Блок-схема эксперимента

Эксперименты проводились в ванне размером $40 \times 40 \times 80$ см³. Блок-схема эксперимента показана на рис. 1. Акустическая волна создавалась пьезокерамическим излучателем И1. Сигнал, прошедший через жидкость, принимался пьезодатчиком П1, расположенным на расстоянии около 20 см от излучателя. Пузырьки создавались путем электролиза воды: у дна ванны находилась тонкая медная сетка, к которой было приложено отрицательное напряжение около 10В. При распространении звука через слой пузырьков волна сильно затухала, но при увеличении ее интенсивности коэффициент затухания резко падал. В наших экспериментах с акустической волной частоты 130 кГц слабая волна (амплитуды давления менее 10^3 Па) при проходе через слой уменьшалась по давлению более чем в сто раз, а более сильная ($P \approx 3 \cdot 10^3$ Па) ослабляется всего в три раза. На рис. 2 показана зависимость коэффициента затухания от амплитуды давления в волне, создаваемой излучателем.

Интересны переходные свойства данного эффекта, а именно, коэффициент затухания падает не сразу после увеличения акустического поля, а спустя несколько секунд, а обратный рост затухания после уменьшения поля происходит за время около десяти секунд.

Для выяснения механизма явления исследовалось влияние акустической волны на распределение пузырьков по размерам. Для этого измерялось затухание слабого сигнала в направлении, перпендикулярном к направлению распространения основной волны. При этом использовался излучатель И2 и приемник П2 (рис. 1). Частота зондирующего слабого сигнала менялась в полосе частот от 90 до 300 кГц (что соответствовало резонансным радиусам пузырьков от 11 до 36 мк). Функция распределения пузырьков по размерам $n(R)$ ($n(R)dR$ — количество пузырьков с радиусами от R до $R + dR$ в единице объема) связана с коэффициентом затухания α известным соотношением [3]

$$n(R) = 1,38 \cdot 10^{-3} R^{-3} \alpha, \quad (1)$$

где коэффициент затухания определяется на частоте, соответствующей резонансной для пузырька с радиусом R .

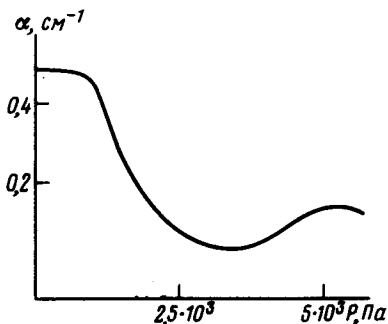


Рис. 2. Зависимость коэффициента затухания от амплитуды акустической волны

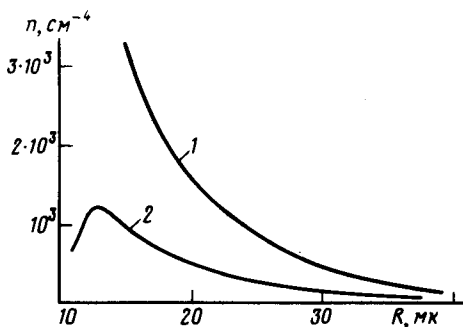


Рис. 3. Функция распределения пузырьков по размерам: кривая 1 — при отсутствии воздействующей акустической волны, кривая 2 — при самопросветлении

На рис. 3 показана функция $n(R)$ при отсутствии мощной воздействующей волны (кривая 1) и при воздействии акустической волны с частотой 130 кГц и амплитудой давления $3,5 \cdot 10^3$ Па (кривая 2). Видно, что в интенсивном акустическом поле резко уменьшается количество пузырьков в измеряемом диапазоне размеров.

Это дает основание предположить, что эффект самопросветления обусловлен группировкой и слиянием пузырьков под действием силы Бьеркнеса. Эта сила, возникающая между двумя колеблющимися пузырьками, в первом приближении определяется соотношением [4]

$$F = \frac{\rho \cdot \dot{V}_1 \dot{V}_2}{4 \pi l^2}, \quad (2)$$

где l — расстояние между пузырьками, \dot{V}_1 — временная производная от объема пузырька. Сделанные по формулам работы [4] оценки времени слияния двух пузырьков под действием силы Бьеркнеса показывают, что, например, время слияния двух пузырьков с радиусами 10 и 20 мк расположенных на расстоянии 1 см при амплитуде акустической волны 10^3 Па составляет около двух секунд. Это время хорошо согласуется с наблюдаемым временем развития самопросветления.

Запаздывание обратного роста затухания после выключения акустического поля очевидно обусловлено временем, необходимым для всплытия пузырьков и заполнением области занятой волной мелкими резонансными пузырьками.

Отметим, что в эксперименте визуально наблюдалось слияние пузырьков до видимых размеров ($R > 40$ мк). Интересно отметить также, что в ряде случаев наблюдалось образование гроздей из десяти и более пузырьков. Такая гроздь после выхода из пучка снова распадалась на отдельные пузырьки.

Плазменным аналогом наблюдаемого нами эффекта самопросветления является эффект самопросветления ленгмюровских волн, обусловленный их влиянием на функцию распределения [5].

Институт прикладной физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
6 августа 1979 г.

Литература

- [1] Д.Д.Рютов. Письма в ЖЭТФ, 22, 446, 1975.
- [2] В.В.Кузнецов, В.Е.Накоряков, Б.Г.Покусаев, И.Р.Шрейбер. Письма в ЖЭТФ, 23, 194, 1976.
- [3] Физические основы подводной акустики. Пер. с англ. под ред. В.И.Мясищева. М., изд. "Сов. радио", 1955.
- [4] В.Ф.Казанцев. Доклады АН СССР, 129, 64, 1959.
- [5] А.А.Веденов. Сб. Вопросы теории плазмы, вып. 3, М., Госатомиздат, 1963.