

КОЛЛАПС МИКРООБЪЕКТОВ, ИНИЦИИРОВАННЫХ ЛАЗЕРНЫМ ИМПУЛЬСОМ В ВОДЕ ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ

*П. И. Голубничий, П. И. Дядюшкин,
Г. С. Калюжный, В. Г. Кудленко*

(Ворошиловград)

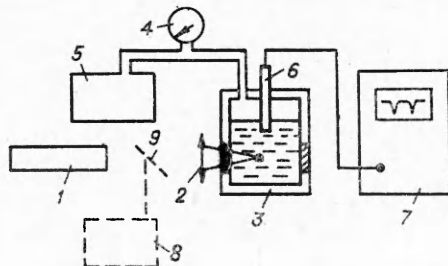
Сравнительно недавно обнаружены плазменные явления, сопровождающие коллапс неоднородности, инициированной лазерным пробоем в различных жидкостях. Речь идет о возникновении коротких ($t < 10^{-7}$ с) световых и коррелированных с ними ударно-акустических импульсов, образующихся спустя несколько десятков микросекунд после инициирования неоднородности [1, 2]. Указанный временной интервал, разделяющий момент инициирования и момент коллапса микрообъекта, суть период пульсации каверны, возникающей на месте лазерного пробоя.

С целью изучения механизма физических процессов, сопутствующих коллапсу, представляет интерес проследить зависимость основных параметров, характеризующих это явление, от термодинамических условий.

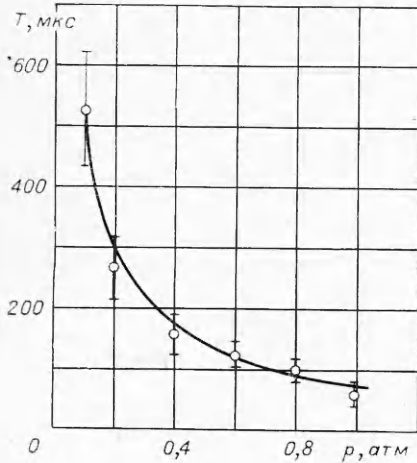
В данной работе экспериментально исследовалось изменение периода пульсации T каверны и амплитуды ударно-акустических импульсов A , возникающих при ее коллапсе, вызванное понижением статического давления до 0,1 атм.

Блок-схема установки приводится на фиг. 1. Импульс ОКГ 1 с энергией 10^{-2} Дж и длительностью 10 нс фокусировался линзой с фокусным расстоянием 4 см 2 в камеру с водой 3 . Давление в камере, контролируемое манометром 4 , можно было понижать с помощью форвакуумного насоса 5 . Акустический импульс, возникающий при коллапсе парогазовой неоднородности, регистрировался гидрофоном 6 , изготовленным из пьезокерамики ЦТС-19. Разрешающее время гидрофона составляло 0,5 мкс. Сигналы, принимаемые гидрофоном, подавались на запоминающий осциллограф С8-2 7 . Период пульсации определялся по расстоянию на развертке осциллографа между импульсами, соответствующими пробоем жидкости и коллапсу неоднородности. Энергия импульса излучения ОКГ периодически контролировалась с помощью твердотельного калориметра ИКТ-1М 8 и зеркала 9 .

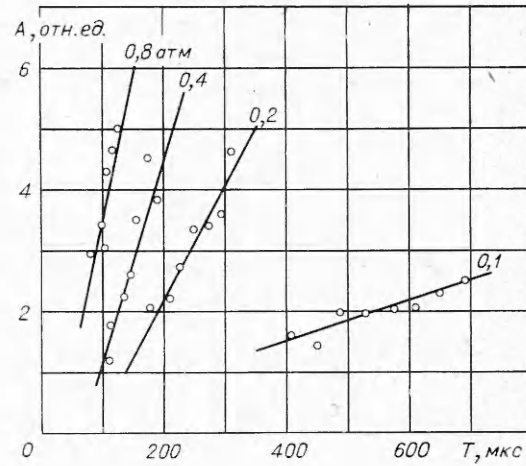
Зависимость периода пульсации полости T от величины статического давления p представлена на фиг. 2. Каждая точка получена в результате обработки 100 осциллограмм. Проведенная кривая соответствует зависимости $T \sim p^{-0,86}$. Показатель степени получен как наклон прямой, проведенной по методу наименьших квадратов через экспериментальные точки



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

в координатах $\lg p, \lg T$. Оценка величины этого наклона дает значение $\operatorname{tg} \alpha = -0,86 \pm 0,1$.

Теоретическая зависимость периода пульсации полости от ее энергии и статического давления дается формулой Виллиса [3]

$$T = 1,14 \rho^{1/2} E^{1/3} / p^{5/6},$$

где ρ — плотность жидкости; E — энергия полости; p — гидростатическое давление. Некоторое расхождение между экспериментальным и теоретическим значениями показателя степени при p можно отнести за счет небольших отклонений формы реальных пузырьков от сферической. Можно также сделать вывод, что энергия полости не изменяется при изменении статического давления от 1 до 0,1 атм. Так как

$$E = (4/3)\pi R^3 p,$$

где R — максимальный радиус неоднородности, то $R \sim 1/p$.

На фиг. 3 представлены зависимости амплитуды акустического импульса A от периода пульсации полости при различных величинах статического давления. Видно, что при постоянном p зависимость A от T хорошо аппроксимируется прямой линией. Это подтверждается также данными работ по исследованию коллапса неоднородностей, инициированных искрой или взрывающимися проволочками [4].

Давление в ударной волне, образующейся при коллапсе пузырька, можно оценить по формуле [3, 5]

$$A = \rho r^3 / \tau^2 l,$$

где r — величина радиуса полости, достигаемая к концу выделения энергии, в момент времени τ ; l — расстояние между пузырьком и акустическим приемником. Согласно работе [5], $r^5 \sim \tau^2 E$. Так как $R \sim T p^{1/2}$ [3], то $A \sim (R/r)^2 p^{3/2} T$.

Поскольку из экспериментальных данных следует, что A линейно зависит от T , можно считать, что $R/r = \text{const}$ при фиксированном значении p .

Наклон прямых на фпг. 3 при понижении давления до 0,2 атм уменьшается слабее, чем это следовало бы из зависимости $A \sim p^{3/2} T$. Это можно объяснить, если предположить, что величина отношения R/r зависит от величины статического давления, причем с понижением давления отношение R/r увеличивается.

При понижении давления от 0,2 до 0,1 атм наклон прямой уменьшается значительно сильнее, чем это следует из зависимости $A \sim p^{3/2} T$. Вероятно, в этом интервале давлений значительную роль играет несимметричность коллапсирующих пузырьков, приводящая к уменьшению амплитуды ударно-акустических импульсов. Следует отметить, что с понижением давления несимметричность пузырьков увеличивается, так как пузырьки большего радиуса менее устойчивы.

Средняя амплитуда акустических импульсов при понижении давления от 1 до 0,1 атм уменьшается на 40%.

В заключение авторы обращают внимание на возможность использования полученных результатов и, в частности, искусственной «растяжки» времени жизни инициированной неоднородности при практической реализации предложенного в работе [6] способа детектирования ядерных частиц с большим удельным энерговыделением. Представляет также интерес факт увеличения максимальных размеров неоднородностей (т. е. дополнительные возможности их визуализации) при понижении статического давления.

Поступила 20 VII 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Бузуков А. А., Тесленко В. С. Сонолюминесценция при фокусировке лазерного излучения в жидкость. — «Письма в ЖЭТФ», 1971, т. 14, вып. 5, с. 286—289.
2. Акманов А. Г., Беньковский В. Г., Голубничий П. И., Масленников С. И., Шеманин В. Г. Исследование лазерной сонолюминесценции в жидкости. — «Акуст. журн.», 1973, т. 19, вып. 5, с. 649—652.
3. Наугольных К. А., Рой И. А. Электрические разряды в воде. М., «Наука», 1971.
4. Перник А. Д. Проблемы кавитации. Л., «Судостроение», 1966.
5. Лямшев Л. М., Наугольных К. А. О генерации звука тепловыми источниками. — «Акуст. журн.», 1976, т. 22, вып. 4, с. 625—627.
6. Голубничий П. И., Дядюшкин П. И., Калужный Г. С., Кудленко В. Г., Масленников С. К., Олзоев К. Ф., Яковлев В. И. Об одном методе детектирования больших удельных энерговыделений. — «Краткие сообщ. по физике», 1976, № 8, с. 21—24.

УДК 532.5.031

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ПОДВОДНОМ ВЗРЫВЕ (ОБЗОР)

В. К. Кедринский

(Новосибирск)

Введение. Поверхностные эффекты, сопровождающие подводный взрыв, представляют собой целый комплекс во многом взаимосвязанных явлений. К ним относят особенность структуры волнового поля, которая определяется существованием областей регулярного и нерегулярного отражения ударных волн от свободной поверхности с резко отличающимися структурой и параметрами, развитие кавитации и формирование купола, вертикальные и радиальные направ-