

535.43 (075.5)

ДЕМОНСТРАЦИЯ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА ДВУМЕРНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СТРУКТУРЕ В ЖИДКОСТИ

Для демонстрации дифракции света на двумерной ультразвуковой структуре в жидкости используется установка, состоящая из кюветы с пьезокварцевым излучателем и специальным отражателем ультразвука, служащим для создания двумерной ультразвуковой структуры (рис. 1, а), и радиочастотного генератора (рис. 1, б). Источником света служит газовый лазер, желательнo с круглым сечением излучаемого светового пучка.

Генератор работает в режиме непрерывной генерации на одной из двух фиксированных частот: 12 или 20 Мгц. Выбор сравнительно высоких частот ультразвука

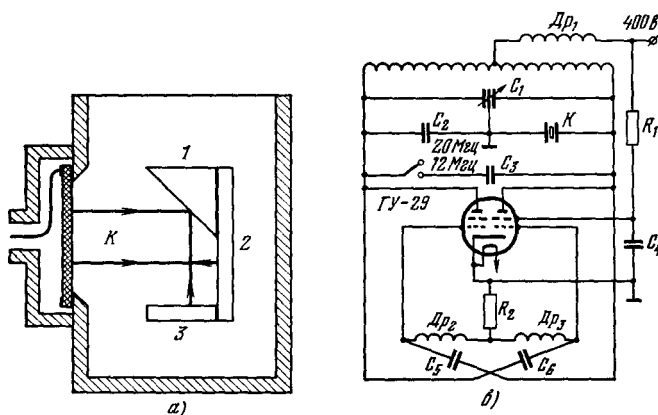


Рис. 1.

определяется необходимостью возможного увеличения линейных размеров демонстрируемых на экране дифракционных картин.

Излучателем ультразвука является круглая кварцевая пластина Х-среза диаметром 40 мм с металлизированными поверхностями, которая имеет собственную частоту 4 Мгц и возбуждается на 3-й или 5-й гармониках. Как показано на рис. 1, а, кварцевая пластина (К) прижата одной своей металлизированной поверхностью к краям круглого отверстия в металлической стенке кюветы, соединенной с корпусом прибора. Эта поверхность кварца соприкасается с жидкостью и излучает в нее ультразвук. К металлическому покрытию противоположной, акустически ненагруженной

поверхности кварца, подводится коаксиальным кабелем высокочастотное напряжение от генератора. Такое крепление излучателя (2) создает наилучшие условия излучения ультразвука в жидкость и обеспечивает экранировку жидкости от высокочастотного поля генератора. При этом выбор жидкости определяется ее упругооптическими константами и не зависит от ее электрических свойств. В описываемых ниже опытах используется дистиллированная вода.

В кювете перед кварцем располагается отражатель, состоящий из 45-градусной стеклянной призмы (1) и стеклянных пластин (2 и 3). Отражатель связан с юстировочным приспособлением, позволяющим плавно изменять расстояние между отражателем и кварцем и осуществлять повороты отражателя вокруг вертикальной оси на небольшие углы. При соответствующей установке отражателя в воде образуются две взаимно перпендикулярные системы стоячих волн: первая — между верхней половиной кварца, призмой и горизонтальной пластиной отражателя (3), и вторая — между нижней половиной кварца и вертикальной пластиной отражателя (2). В результате между призмой и пластинами отражателя в воде образуется двумерная периодическая ультразвуковая структура сжатий и разрежений. Луч лазера через стеклянные стенки

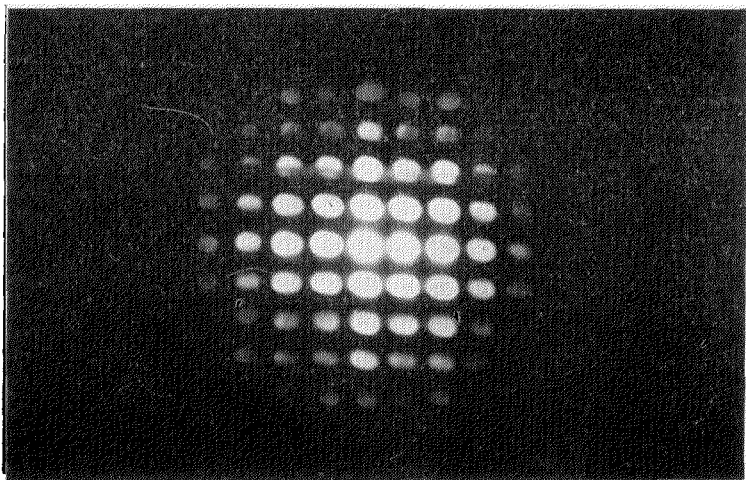


Рис. 2.

кюветы направляется параллельно поверхностям призмы и пластин на экран. При прохождении через ультразвуковую структуру, представляющую для света объемную двумерную фазовую решетку, свет дифрагирует, и на экране большой аудитории демонстрируется дифракционная картина в виде прямоугольной сетки дифракционных максимумов, которая соответствует симметрии ультразвуковой структуры (рис. 2 и 3). В лабораторных условиях это явление впервые наблюдалось Бером и Мейером^{1, 2}.

Установка позволяет демонстрировать на экране и изображение самой ультразвуковой структуры, которая проектируется объективом «Орион» ($F = 20$ мм), располагаемым непосредственно у кюветы. На рис. 4 и 5 показаны фрагменты фотографий ультразвукового поля на экране. При повышении частоты генератора с 12 до 20 МГц длина ультразвуковых волн в воде уменьшается с 0,12 до 0,07 мм: на рис. 5 видно соответствующее уменьшение периода ультразвуковой структуры по сравнению с рис. 4. Уменьшение периода структуры вызывает и соответствующее увеличение углов дифракции и размеров дифракционной картины, изображенной на рис. 3, по сравнению с картиной на рис. 2. При расстоянии от кюветы до экрана 10 м диаметр дифракционной картины при частоте ультразвука 12 МГц составляет 40 см, а при частоте 20 МГц — соответственно 70 см, что вполне достаточно для большой аудитории.

В ходе демонстрации можно также показать, как образуется двумерная ультразвуковая структура. Для этого перед кварцем располагается заслонка в виде листовой резины, натянутой на проволочную рамку. Если закрывать заслонкой верхнюю или нижнюю половины кварцевой пластины, можно поочередно исключать одну из двух систем стоячих волн. При этом демонстрируются дифракционные картины от плоских стоячих волн, образующихся при отражении от горизонтальной пластины отражателя (рис. 6) или от вертикальной пластины (в этом случае наблюдается такая же картина, но повернутая на 90°).

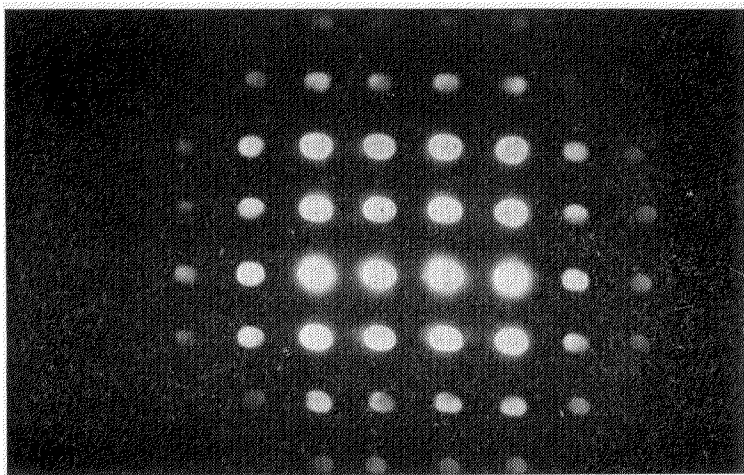


Рис. 3.

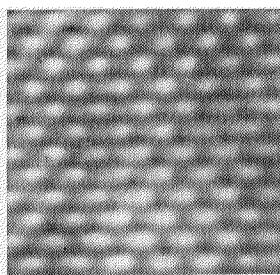


Рис. 4.

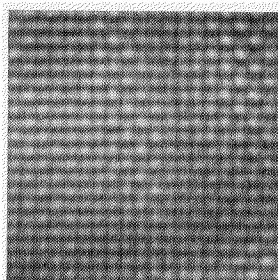


Рис. 5.

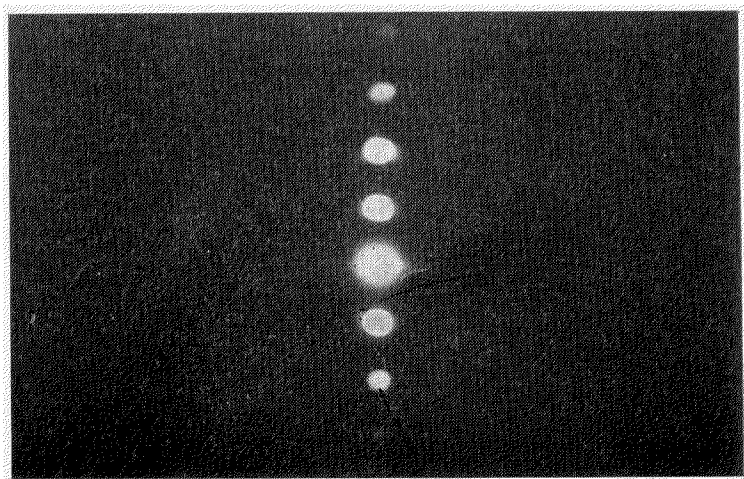


Рис. 6.

Таким образом, на этой установке можно легко переходить и к демонстрации дифракции света на одномерной ультразвуковой решетке, которая может осуществляться и с обычным источником белого света³. В этом случае будет наблюдаться спектральное разложение белого света. Однако для визуализации плоских волн указанным выше способом необходимо использовать газовый лазер.

Кроме дифракции света на периодических структурах можно демонстрировать дифракцию на двумерном беспорядочном пересечении ультразвуковых волн. Для этого перед кварцем располагается другой отражатель, выполненный из полосы медной

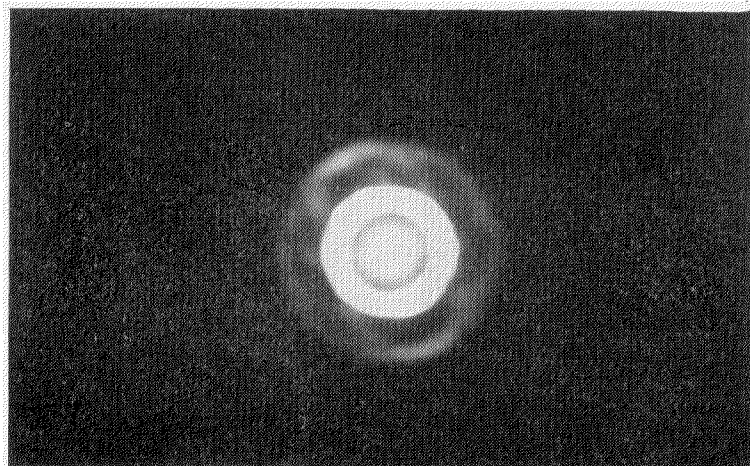


Рис. 7.

фольги, которая измята в виде «гармошки» с беспорядочным чередованием ширины и ориентаций граней. Луч лазера направляется параллельно граням и ребрам отражателя через область пересечения отраженных ультразвуковых волн. На экране при этом наблюдается дифракционная картина в виде светлых и темных концентрических колец (рис. 7). Это свидетельствует о том, что при беспорядочном пересечении ультразвуковых пучков образуется хаотическое стационарное распределение амплитуд колебаний плотности жидкости.

Путем изменения конструкции отражателя на этой установке можно демонстрировать дифракцию света на ультразвуковых структурах различной симметрии².

Схема двухтактного генератора на двойном высокочастотном тетраде ГУ-29 изображена на рис. 1, б (его данные: $C_1 = 5 - 20$ пф, $C_2 = 70$ пф (равна емкости кварца (K)), $C_3 = 60$ пф, $C_4 = 10\,000$ пф, $C_5 = C_6 = 50$ пф, $R_1 = 7$ ком, 10 ом, $R_2 = 12$ ком, 25 ом. Переключение частоты осуществляется тумблером, включающим емкость C_3 для генерации на частоте 12 Мгц).

Следует заметить, что при помощи описанных выше отражателей можно демонстрировать дифракцию света на двумерной структуре путем использования уже имеющейся установки для демонстрации дифракции света на плоских ультразвуковых волнах^{2, 3}. Однако желательно применять кварц с большей излучающей поверхностью и по возможности увеличить частоту и мощность генератора.

Авторы выражают благодарность В. С. Букланову и М. С. Тихомирову за участие в работе.

Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова

К. Н. Баранский, Г. А. Север

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. R. В ä r, E. М e у e r, *Helv. Phys. Acta* 6, 242 (1933); *Phys. Zs.* 34, 393 (1933).
2. Л. Б е р г м а н, *Ультразвук*, М., ИЛ, 1956.
3. Лекционные демонстрации по физике, под ред. В. И. Ивероновой, М., «Наука», 1965.