

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

ДИФФРАКЦИЯ СВЕТА НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛНАХ
БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ*И. Г. Михайлов, В. А. Шутилов*

При измерении скорости ультразвуковых волн в жидкостях оптическим методом нами было замечено, что при больших амплитудах ультразвуковых колебаний появляется резкая асимметрия диффракционной картины. Интенсивность диффракционных линий одного и того же порядка справа и слева от центрального максимума становится неодинаковой, усиливаясь в направлении распространения ультразвуковой волны, количество же видимых порядков убывает в том же направлении. Для выяснения закономерностей этого явления нами было сделано несколько серий фотографий спектра при разных интенсивностях звука и на различных расстояниях между кварцем и световым пучком, пересекающим ультразвуковое поле.

В этих опытах кварцевая пластинка диаметром 50 мм была укреплена в кювете таким образом, что одна из ее излучающих поверхностей непосредственно соприкасалась с жидкостью, заполняющей кювету (дистиллированной водой). Размеры кюветы позволяли производить наблюдение диффракции света на расстояниях до 70 см от кварца. Частота ультразвуковых колебаний была равна 573,2 кГц. Амплитуда возбуждающего напряжения на пьезокварцевом вибраторе доводилась до 8 кв.

Объектив оптической части установки имел фокусное расстояние 150 см. В качестве источника света использовалась ртутная лампа ПРК-4 со светофильтром, выделявшим линию 4358 Å. Мы приводим здесь в качестве примера несколько снимков, расположенных в двух сериях. Серия А относится к расстоянию 26 см от излучателя ультразвука, серия В — к расстоянию 65 см. Слева указаны напряжения на кварце, при которых фотографировались соответствующие диффракционные картины. На снимках 4—8 обеих серий отрезок яркой линии представляет собой изображение участка щели, сфотографированного при выключенном ультразвуковом поле. Приведенные фотографии, конечно, не точно передают распределение интенсивности света в диффракционных картинах как из-за нелинейности светочувствительных характеристик фотобумаги и пленки, так и из-за различных экспозиций при съемке и печатании. Тем не менее, эти фотографии достаточно хорошо иллюстрируют основные закономерности в изменении характера диффракционных картин. При небольших интенсивностях звука картина симметрична, а число порядков навелико. С увеличением напряжения на электродах кварца наряду с увеличением числа порядков наблюдается периодическое изменение яркости линий, — явление, описанное многими авторами (например, [1]) и хорошо объясняемое теорией Рамана и Ната [2]. При дальнейшем увеличении напряжения возрастает интенсивность крайних линий спектра, после чего появляется асимметрия, которая усиливается с увеличением напряжения. Эта асимметрия имеет тем более резко выраженный характер и появляется при тем меньших напряжениях, чем больше расстояние между световым пучком и излучателем ультразвука (на негативах, соответствующих снимкам 6—8 серии В на левом крыле спектра, можно видеть бесчисленное количество слабых линий, выходящих за пределы кадра). В непосредственной близости к источнику ультразвука асимметрия почти совсем отсутствует. Таким образом, увеличение расстояния влияет на характер асимметрии так же, как повышение напряжения на кварце.

Следует заметить, что хотя поглощение звука в воде при данной частоте невелико, при больших амплитудах ультразвуковых колебаний, когда возникает кавитационный процесс, интенсивность звука значительно падает с расстоянием из-за рассеяния на кавитационных пузырьках. Поэтому на больших расстояниях одному и тому же напряжению на кварце могут соответствовать меньшие интенсивности ультразвука.

В связи с этим отметим еще, что с возникновением кавитации (при 2,5—3 кв напряжения на кварце) интенсивность звука в слое жидкости, пересекаемом пучком света, становится непостоянной, особенно на больших расстояниях от излучателя. В соответствии с этим наблюдается быстрое изменение яркости линий спектра и фотографирование дает усредненную во времени картину. Это замечание относится, в частности, к снимкам 3 и 4 серии В. При напряжениях выше 4,5—5 кв диффракционная картина снова становится стабильной. Одновременно прекращается выделение видимых газовых пузырьков.

Укажем, наконец, что на большом расстоянии от кварца характер асимметрии при больших интенсивностях звука почти не меняется с увеличением напряжения (см. снимки 6—8 серии *B*).

Как известно, асимметрию диффракционной картины можно наблюдать при косом падении пучка света на ультразвуковую волну [2]. Нами было установлено, что с увеличением напряжения на кварце эта асимметрия исчезает и непараллельность светового пучка к фронту ультразвуковой волны сказывается лишь на соответствующем уменьшении числа порядков спектра.

Сетт [3] наблюдал небольшую асимметрию и при нормальном падении светового пучка к направлению распространения ультразвуковых волн на относительно больших расстояниях от излучателя. Он объяснил эту асимметрию тем, что на больших расстояниях фронт ультразвуковой волны не может быть идеально плоским. Наблюдаемая нами асимметрия, безусловно, не связана с искривлением фронта ультразвуковой волны. Это прежде всего подтверждается указанным выше исчезновением при больших амплитудах ультразвука той асимметрии, которая возникает при наклонном падении света. Далее, в этом убеждает тот факт, что произведенное нами намеренное искажение ультразвукового пучка при помощи диафрагм и акустических линз не вызвало появления асимметрии в первоначально симметричной диффракционной картине.

Мы полагаем, что обнаруженная нами асимметрия является результатом искажения формы ультразвуковой волны с образованием ударных волн, возможность возникновения которых в жидкости недавно была показана опытами Зарембо, Красильникова и Шкловской - Корди [4], а также подтверждается некоторыми другими работами [5 и 6]. Судя по расчетам Бикара [7], в нашем эксперименте тоже были созданы условия, необходимые для образования ударной волны.

Слой жидкости, в которой распространяются такие волны, представляет собой диффракционную решетку с несинусоидальным, близким к пилообразному, изменением показателя преломления на периоде решетки, равном длине ультразвуковой волны.

Такая решетка будет создавать как фазовую, так и амплитудную модуляцию света. Подобно тому, как это имеет место в фазовых прсфилированных решетках (типа решетки Вуда), модуляция фазы должна вести к концентрации света в определенной области диффракционной картины с одной стороны от центрального максимума, под тем углом наблюдения, при котором возникает компенсация разности хода, приобретенной световыми лучами на выходе из различных участков периода решетки. Кроме того, в данном случае, безусловно, имеет место и амплитудная модуляция света, которая, как известно, вызывается искривлением световых лучей и проявляется тем сильнее, чем больше амплитуда переменного показателя преломления, т. е. чем больше амплитуда давления в звуковой волне. Накладываясь на эффект фазовой модуляции, эффект модуляции амплитуды осложняет явление. Тем не менее, на основании распределения интенсивности по спектрам полученных диффракционных картин, представляется возможным составить суждение о фазовой и амплитудной модуляции света решеткой и тем самым определить ход показателя преломления на периоде решетки, т. е. определить форму самой ультразвуковой волны.

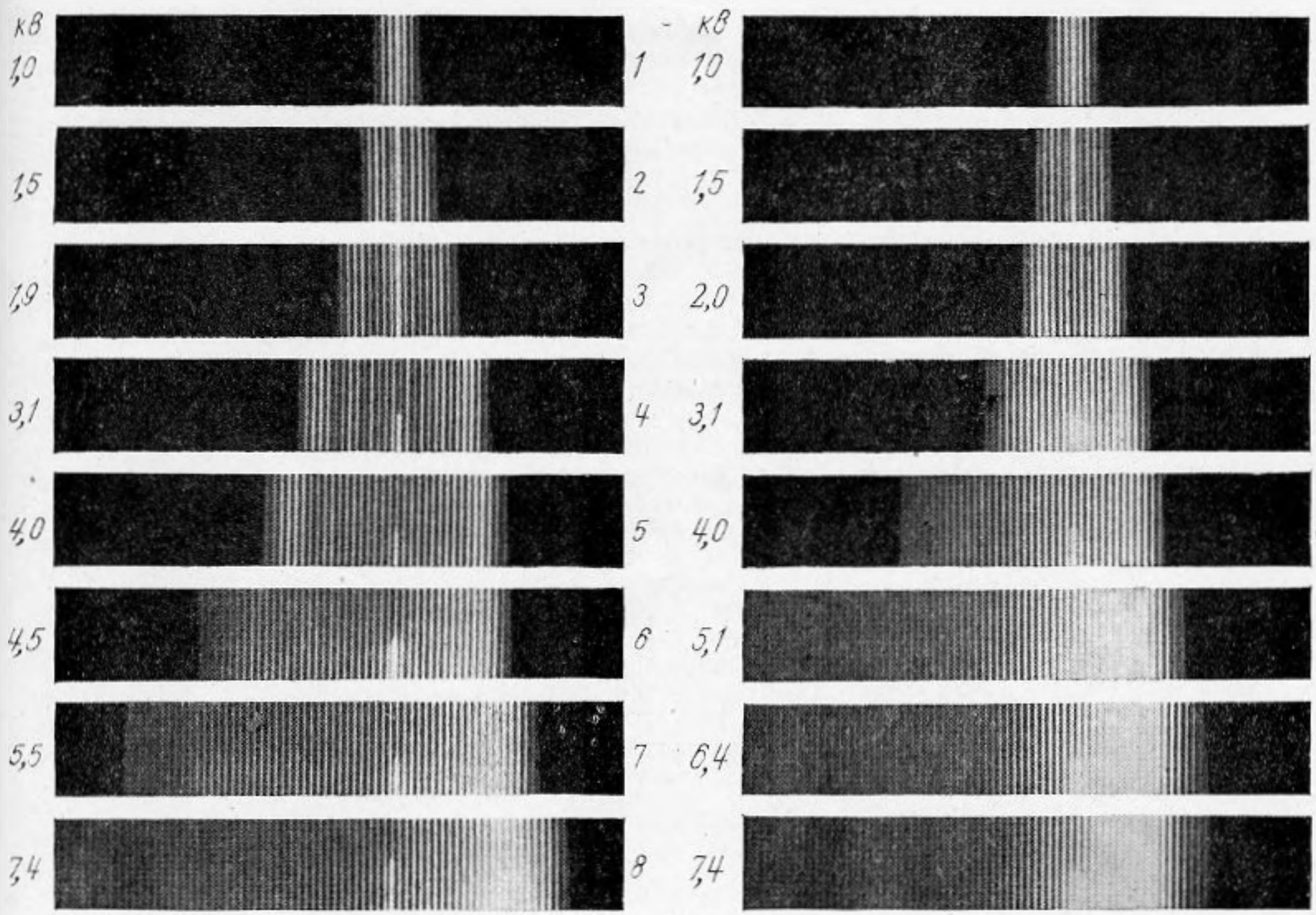
В заключение заметим, что в области использованных интенсивностей скорость ультразвуковых волн в воде, в этиловом спирте, бензоле, 17% растворе этилового спирта в воде и 25% водном растворе азотнокислого алюминия в пределах точности опыта ($\sim 0,05\%$) оставалась постоянной.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Н. П о г о д а е в. Распределение интенсивностей света в диффракционных спектрах на ультразвуке при высоких напряжениях на кварце. ЖТФ, 1941 г., 5, 11, 474.
2. С. V. R a m a n, N a t h N. S. N a g e n d r a. The diffraction of light by high frequency sound waves. Proc. Ind. Acad. Sci., 1935, II (A), 406, 413.
3. D. S e t t e. Su alcuni effetti ottici degli ultrasuoni. Nuovo Cimento. 1948, 5, 493.
4. Л. К. З а р е м б о, В. А. К р а с и л ь н и к о в, В. В. Ш к л о в с к а я - К о р д и. Об искажении формы ультразвуковой волны конечной амплитуды в жидкостях. ДАН СССР, 1956, 109, 3, 485.
5. F. E. F o x, W. A. W a l l a c e. Absorption of finite amplitude sound waves. J. Acoust. Soc. Amer., 1954, 26, 6, 994.
6. A. P. L o e b e r, E. A. H i e d e m a n n. Investigation of stationary ultrasonic waves. J. Acoust. Soc. Amer., 1956, 28, 1, 27.
7. B. B i q u a r d. Sur l'asorption des ondes ultrasonores par les liquides. Ann. de phys. 1936 (II), 6, 195.

Ленинградский государственный
университет

Поступило в редакцию
28 февраля 1957 г.



А

Б

К письму И. Г. Михайлова и В. А. Шутилова