АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том V 1959 Вып. 1

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА ГАРМОНИКАХ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ, ИСКАЖЕННОЙ В ПРОЦЕССЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ЖИДКОСТИ *

И. Г. Михайлов, В. А. Шутилов

Описывается метод наблюдения гармоник ультразвуковых волн, искаженных в процессе распространения в жидкости. Приводятся фотографии, иллюстрирующие дифракцию света на 2-й, 3-й, 4-й и 5-й гармониках.

В настоящее время известно несколько работ, в которых наблюдалось значительное искажение ультразвуковых волн конечной амплитуды в жидкости и даже образование слабых ударных волн на сравнительно небольших расстояниях от источника звука [1—3].

В выполненных нами ранее экспериментах по дифракции света на ультразвуковых волнах большой амплитуды это искажение вело к несимметричному распределению света в дифракционной картине. По положению максимумов интенсивности света можно было определить степень искажения ультразвуковой волны на различных расстояниях от источника [4]. Произведенные позже количественные измерения показали, что в воде, при частоте ультразвука ~ 600 *кгц* и интенсивности у излучателя $\sim 20 \frac{вт}{см^2}$, ультразвуковые волны испытывают предельное искажение уже на расстоянии 60—70 *см*.

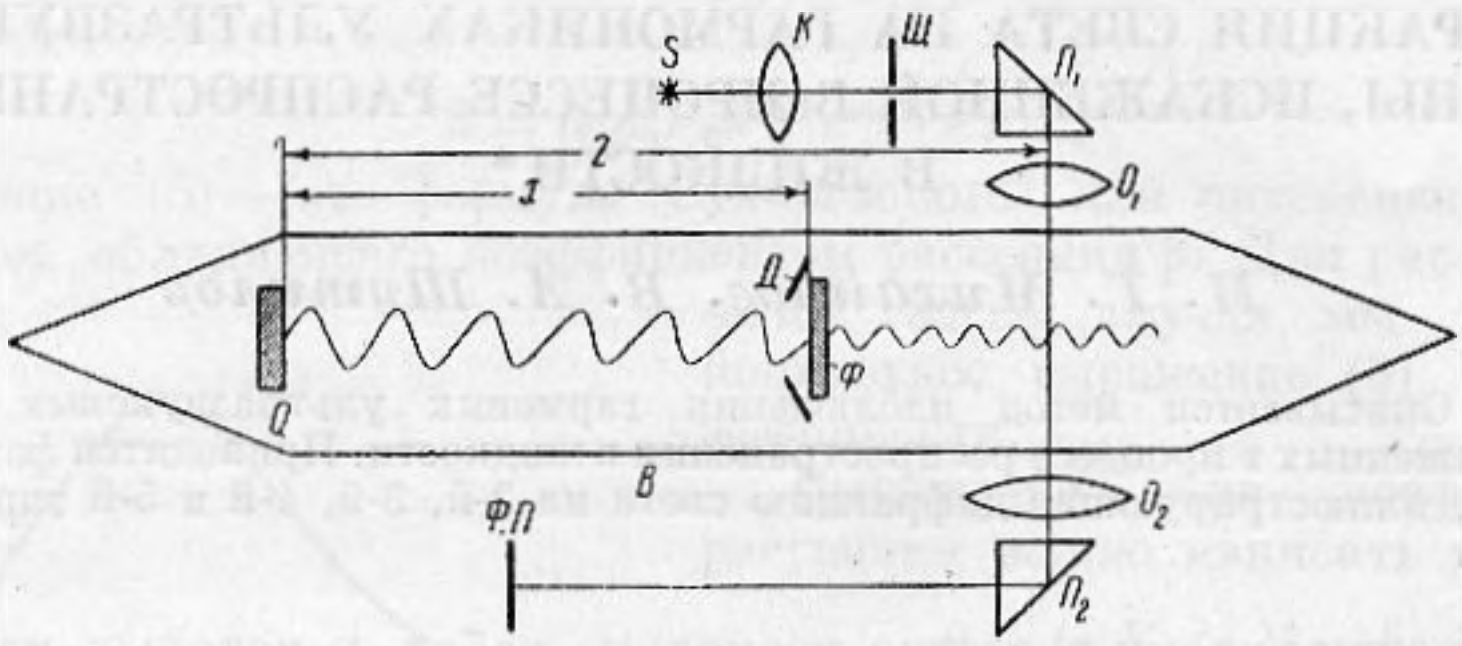
Искажение волны равносильно появлению в ней высших гармоник, которые можно наблюдать с помощью обычной оптической дифрацкионной установки. Схема установки, применявшейся нами для этой цели, показана на фиг. 1. Излучающая обеими гранями пьезокварцевая пластина Q возбуждалась с помощью лампового генератора на основной частоте 583 *кгц*. Форма напряжения на электродах пластины контролировалась осциллографом. Изучатель помещался в заполненную дистиллированной водой латунную ванну размером $15 \times 18 \times 120$ *см*, снабженную стеклянными окошками и заглушенную губчатой резиной. Оптическая система состояла из источника монохроматического света S, щели *Щ*, линз K, O_1, O_2 и призм полного внутреннего отражения $П_1$ и $П_2$. Для выделения гармоник на пути распространения искаженных ультразвуковых волн между излучателем и пучком света устанавливался акустический фильтр $Ф$, прозрачный для n-й гармоники и непрозрачный для других гармоник и основной частоты. В фокальной плоскости объектива O_2 при этом должно наблюдаться увеличение расстояния между дифракционными порядками в n раз по сравнению с тем расстоянием, которое имеет место в отсутствие акустического фильтра, т. е. при дифракции света на основной (полной) ультразвуковой волне. В качестве акустических фильтров использовались плоско-параллельные пластинки из тяжелого флинта толщиной, равной целому числу полуволн 2-й, 3-й, 4-й, 5-й и 6-й гармоник **. Пластинка-

---

* Доложено на IV Всесоюзной акустической конференции. Москва, май, 1958 г. См. Рефераты докладов. ИАН СССР (1958), 31—32.

** Для уменьшения возбуждения в пластинках непродольных колебаний они изготавливались сравнительно большой толщины (в несколько полуволн).

фильтр укреплялась на пути распространения ультразвуковых волн строго перпендикулярно к этому направлению и могла свободно перемещаться между излучателем и световым пучком, расстояние z между которыми во всех опытах оставалось неизменным. Для устранения «огибания» фильтра ультразвуковыми волнами применялась коническая каучуковая диафрагма *Д*. Напряжение на кварце и частота колебаний поддерживались постоянными.

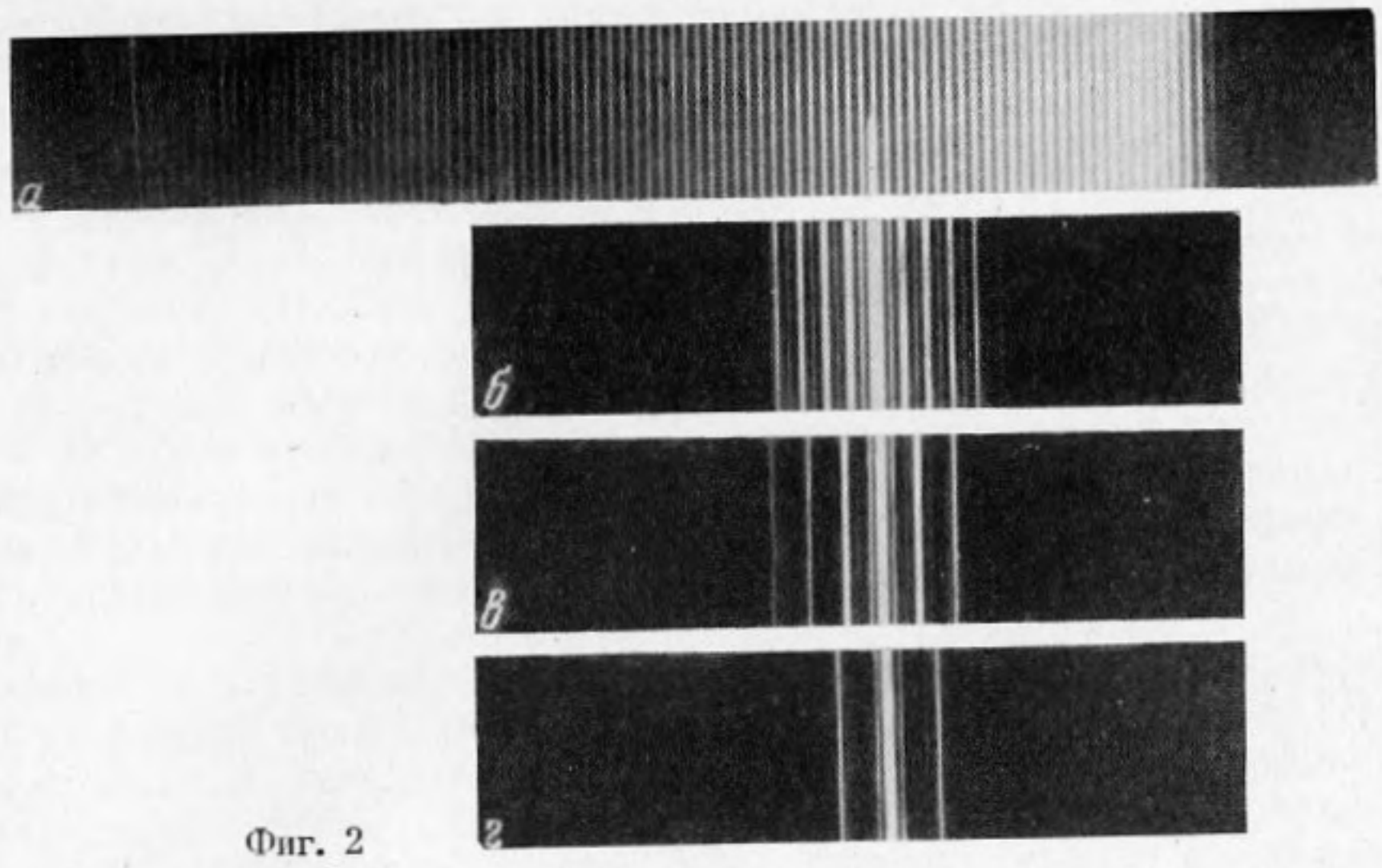


Фиг. 1

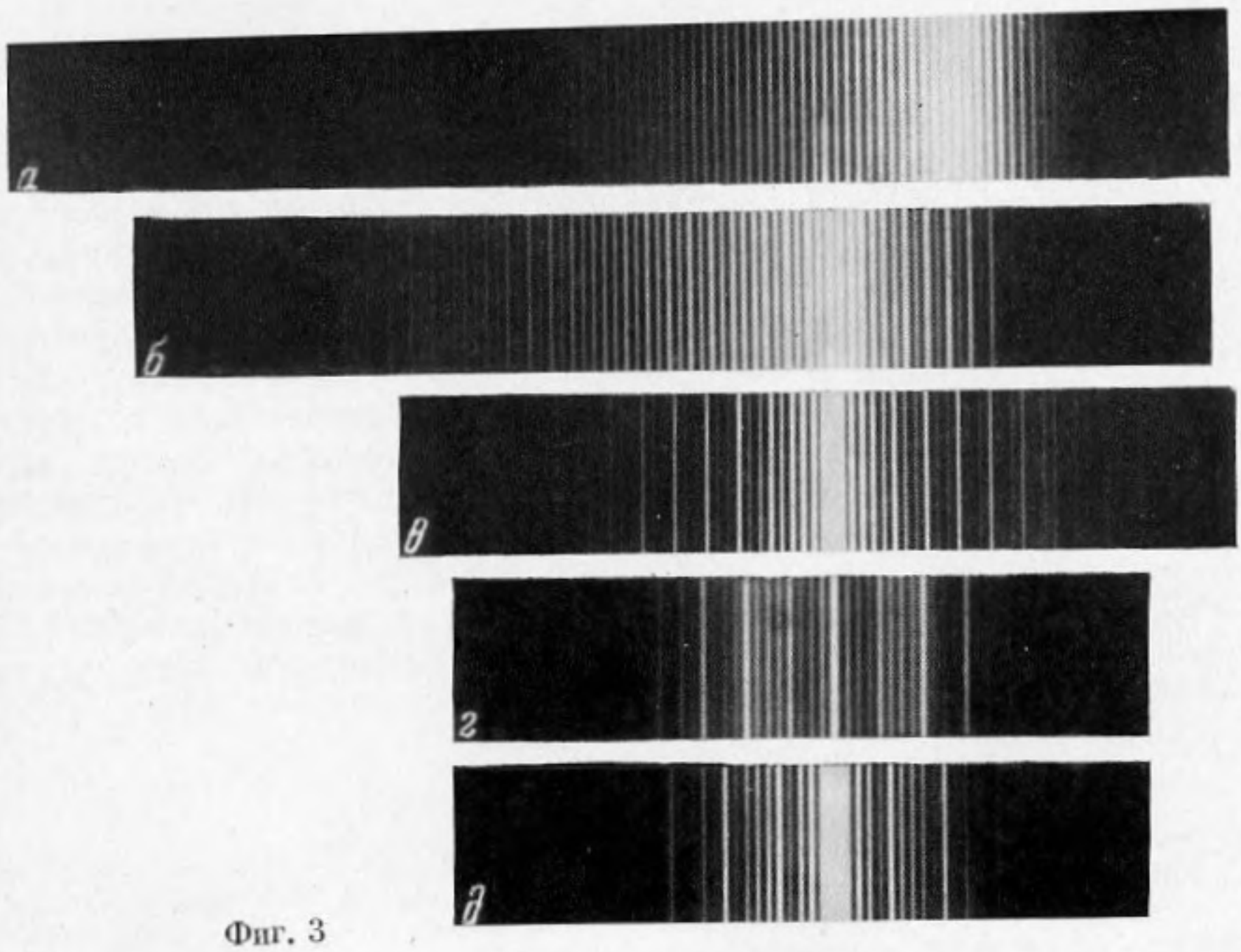
Если пластинка-фильтр находится в непосредственной близости от излучателя, то ультразвуковая волна на малом расстоянии между излучателем и фильтром еще не испытывает заметного искажения и полностью отражается пластинкой, непрозрачной для волны основного тона. В этом случае в фокальной плоскости объектива зрительной трубы наблюдается лишь изображение щели. По мере увеличения расстояния x между излучателем и фильтром основная волна в месте расположения фильтра становится все более искаженной, т. е. в ней появляются и усиливаются высшие гармоники. Та из гармоник, для которой выполняется соотношение $(2m-1)\cdot\lambda_n/2 = h$, где m — целое число, λ_n — длина волны гармоники и h — толщина пластинки-фильтра, проходит через фильтр и вызывает дифракцию света. Количество и интенсивность дифракционных полос, наблюдаемых при этом в фокальной плоскости объектива O_2, могут служить мерой интенсивности данной гармоники. Применяя пластинки-фильтры различной толщины, мы наблюдали дифракцию света на последовательной серии гармоник искаженной волны при различных фиксированных расстояниях между источником звука и фильтром и при различных интенсивностях ультразвука у источника.

На фиг. 2 в виде примера приведена серия снимков, полученных при $x = 20$ *см* и при интенсивности ультразвука у источника $I_0 = 16{,}6$ *вт/см*². Интенсивность в плоскости оси светового пучка при этом составляла 15,1 *вт/см*². Интенсивность звука измерялась с помощью описанного нами ранее калориметрического прибора [5]. Фигура 2, *а* представляет собой дифракционную картину от «полной» ультразвуковой волны, без фильтра, полученную при $x = z$ (см. фиг. 1). Из этого снимка видно, что дифракционная картина имеет отчетливо выраженную асимметрию, свидетельствующую о значительном искажении формы волны. В соответствии с этим на фиг. 2,*б*, 2,*в* и 2,*г*, полученных с фильтрами, установленными на расстоянии $x = 20$ *см* от излучателя, отчетливо видна дифракция света последовательно на 2-й, 3-й и 4-й гармониках. На этих снимках, кроме того, виден «фон»— слабые линии, соответствующие дифракции света на ультразвуковых волнах основного тона, частично проникающих через фильтр (для устранения косвенного попадания основных волн в область прохождения светового пучка кроме диафрагмы *Д* применялись специальные ловушки).

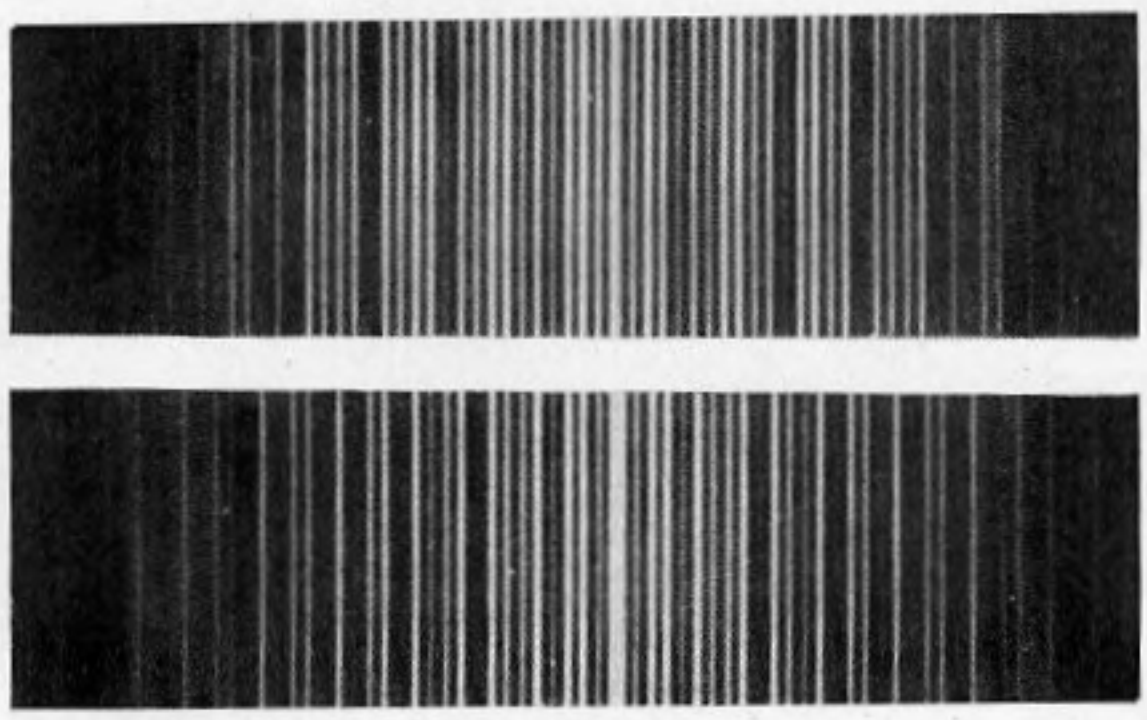
На фиг. 3 показан ряд снимков, полученных при той же интенсивности у излучателя, но при $x = 50$ *см*. На этом расстоянии интенсивность со-



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

ставляла 6,5 *вт/см*². Наряду с таким большим падением интенсивности, связанным с сильным искажением основной волны (дифракционная картина на фиг. 3, *а* имеет резкую асимметрию) наблюдается большое количество дифракционных полос, соответствующих дифракции света на 3-й, 4-й и 5-й гармониках (фиг. 3, *в*, *г*, *д*).

На фигуре 3, *б* видна заметная асимметрия дифракционной картины от второй гармоники. В образовании асимметрии здесь, по-видимому, принимают участие два эффекта: искажение второй гармоники на пути между фильтром и пучком света (серия фотографий фиг. 3 получена при $z - x = 15$ *см*) и прохождение сквозь фильтр, прозрачный для второго обертона, также и высших четных гармоник, из которых четвертая имеет довольно большую амплитуду и дает значительный дифракционный эффект (фиг. 3, *г*), шестая же гармоника вызывает лишь слабые полосы ± 1 порядка.

Отметим, что с удалением пластинки-фильтра от изучателя прохождение сквозь фильтр волн основного тона и посторонних (нечетных) гармоник увеличивается, вследствие искривления фронта волн из-за дифракции на краях ультразвукового пучка. Это вызывает некоторое усиление упоминавшегося выше «фона». Кроме того, усиление «фона» наблюдается с увеличением номера гармоники, что обусловлено соответствующим уменьшением селективности фильтра.

По этой причине дифракционные линии, вызываемые 6-й гармоникой, лишь слабо выделялись на фоне дифракционных полос от основного тона. Дифракцию же света на 7-й гармонике наблюдать не удалось, так как соответствующие линии практически сливаются с «фоном».

В заключение заметим, что аналогичные эффекты можно получить и с помощью одной пластинки-фильтра, устанавливаемой под некоторыми определенными углами к фронту ультразвуковых волн, подобно тому, как это делалось в [3]. Однако в этом случае дифракционные картины получаются менее отчетливыми, «засоренными постронними линиями, иногда трудно расшифровываемыми. Примером к последнему случаю могут служить две фотографии на фиг. 4, полученные при использовании в качестве фильтра наклоненной к оси ультразвукового пучка стеклянной пластинки толщиной ~1,5 *мм*.

Образование таких дифракционных картин (их можно получить и в случае чисто синусоидальной основной волны) связано, по-видимому, с возбуждением в пластинке сдвиговых (и другого типа) колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. К. Зарембо, В. А. Красильников, В. В. Шкловская-Кордн. Об искажении формы ультразвуковой волны конечной амплитуды в жидкостях. Докл. АН СССР, 1956, **109**, 3, 485—488.
2. И. Г. Михайлов, В. А. Шутилов. Дифракция света на ультразвуковых волнах большой амплитуды. Акуст. ж., 1957, **3**, 2, 203—204.
3. В. А. Буров, В. А. Красильников. Непосредственное наблюдение искажения формы интенсивных ультразвуковых волн в жидкости. Докл. АН СССР, 1958, **118**, 5, 920—923.
4. И. Г. Михайлов, В. А. Шутилов. Дифракция света на ультразвуковых волнах большой амплитуды. Акуст. ж., 1958, **4**, 2, 174—183.
5. И. Г. Михайлов, В. А. Шутилов. Прибор для измерения абсолютной интенсивности ультразвука. Акуст. ж., 1957, **3**, 4, 379—380.

Ленинградский государственный университет

Поступила в редакцию 11 июня 1958 г.