

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.3.2(А)

# Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости

установка с вертикальной щелью

выполнила студентка группы Б03-303

Мария Шишкарёва



## 1 Цель работы:

изучение дифракции света на синусоидальной акустической решетке и наблюдение фазовой решетки методом темного поля.

## 2 В работе используются:

оптическая скамья, осветитель, два длиннофокусных объектива, кювета с жидкостью, кварцевый излучатель с микрометрическим винтом, генератор звуковой частоты, линза, вертикальная нить на рейтере, микроскоп.

## 3 Теория:

В данной работе исследовано явление *дифракции* – отклонений в распространении света от законов геометрической оптики – на фазовой решётке, то есть в среде, осуществляющей периодическую модуляцию падающей волны света по фазе за счёт периодического изменения толщины и/или показателя преломления. В нашей работе рассмотрена дифракция на синусоидальной фазовой решётке в воде. При прохождении ультразвуковой волны через жидкость в ней возникают периодические неоднородности коэффициента преломления, и таким образом создается фазовая решетка, которую мы считаем неподвижной ввиду малости скорости звука относительно скорости света. Показатель преломления  $n$  изменяется по закону:

$$n = n_0(1 + m \cos \Omega x)$$

Здесь  $\Omega = 2\pi/\Lambda$  – волновое число для ультразвуковой волны,  $m$  – глубина модуляции  $n$  ( $m \ll 1$ ).

Положим фазу  $\varphi$  колебаний световой волны на передней стенке кюветы равной нулю, тогда на задней поверхности она равна:

$$\varphi = knL = \varphi_0(1 + m \cos \Omega x)$$

Здесь  $L$  – толщина жидкости в кювете,  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число для света.

После прохождения через кювету световое поле есть совокупность плоских волн, распространяющихся под углами  $\theta_m$ , соответствующими максимумам в

дифракции Фраунгофера:

$$\Lambda \sin \theta_m = m\lambda \quad (1)$$

Этот эффект проиллюстрирован на рисунке 1.

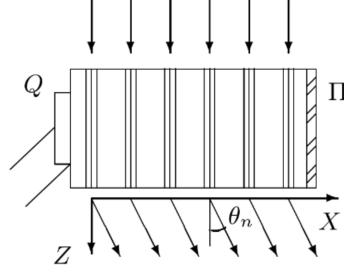


Рис. 1: Дифракция световых волн на акустической решетке

Зная положение дифракционных максимумов, по формуле (1) легко определить длину ультразвуковой волны, учитывая малость  $\theta$ :  $\sin \theta \approx \theta \approx l_m/F$ , где  $l_m$  — расстояние от нулевого до последнего видимого максимума,  $F$  — фокусное расстояние линзы. Тогда получим:

$$\Lambda = m\lambda F/l_m \quad (2)$$

Скорость ультразвуковых волн в жидкости, где  $\nu$  — частота колебаний излучателя:

$$v = \Lambda\nu \quad (3)$$

Стоит сформулировать качественный критерий, при выполнении которого можно считать акустическую решётку чисто фазовой, т. е. рассматривать её как тонкий фазовый экран. Для нашей задачи условие тонкого транспаранта можно записать в виде

$$m \ll \frac{\Lambda}{L} \sqrt{\frac{\lambda}{L}}.$$

В настоящей работе помимо дифракционного метода определения длины волны ультразвука используется способ получения видимого изображения акустической решётки — метод тёмного поля, основанный на устранении центрального дифракционного максимума с помощью специального экрана. Как нетрудно показать, в поле зрения микроскопа будут наблюдаться чередующиеся светлые и тёмные полосы, причём расстояние между тёмными полосами соответствует смещению в плоскости кюветы на  $\Lambda/2$ . Таким образом, должно наблюдаться характерное для метода тёмного поля удвоение числа деталей рассматриваемой структуры.

## 4 Схема установки:

Схема установки приведена на рисунке 2. Источник света  $\mathcal{L}$  через светофильтр  $\Phi$  и конденсор  $\mathcal{K}$  освещает вертикальную щель  $S$ , находящуюся в фокусе объектива  $O_1$ . После объектива параллельный световой пучок проходит через кювету  $\mathcal{C}$  перпендикулярно акустической решетке, и дифракционная картина собирается в фокальной плоскости объектива  $O_2$ , наблюдается при помощи микроскопа  $\mathcal{M}$ .

Предварительную настройку установки произведем в соответствии с инструкцией с зеленым фильтром, далее в работе используется красный.

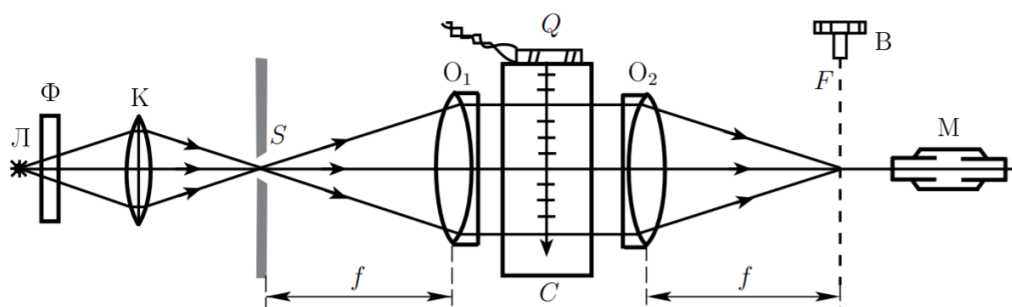


Рис. 2: Схема для наблюдения дифракции на акустической решетке

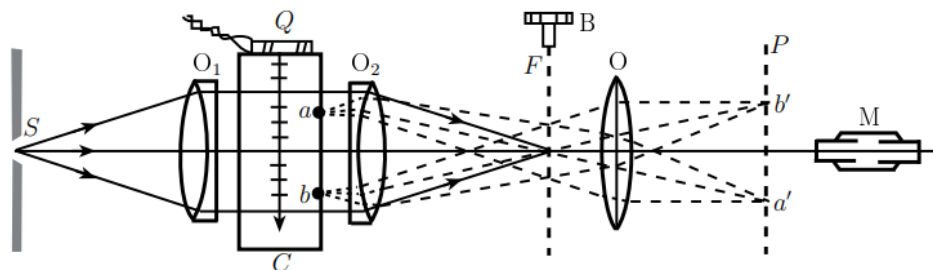


Рис. 3. Наблюдение акустической решётки методом тёмного поля

Рис. 3: Схема для наблюдения дифракции методом тёмного поля

## 5 Результаты измерений:

### 5.1 Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

	$\nu_1 = 1.19 \text{ МГц}$	$\nu_2 = 3.97 \text{ МГц}$	$\nu_3 = 1.59 \text{ МГц}$	$\nu_4 = 1.83 \text{ МГц}$
m	$x_m, \text{ МКМ}$	$x_m, \text{ МКМ}$	$x_m, \text{ МКМ}$	$x_m, \text{ МКМ}$
-3	1188			
-2	1044	1336	1120	1192
-1	892	828	916	928
0	752	712	696	696
1	584	256	625	464
2	440	-520	284	240
3	268			

## 5.2 Определение скорости ультразвука методом тёмного поля

Опытным путём определили цену деления окулярной шкалы:  $1 \text{ дел} = \frac{1}{6} \text{ мм}$

$\nu_1, \text{ МГц}$	1.17	1.6	1.83	1.48
$x_1, \text{ дел}$	101	72	62	90
$x_1, \text{ дел}$	11	21	0	0
N	24	22	37	28

## 6 обработка результатов:

### 6.1 Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

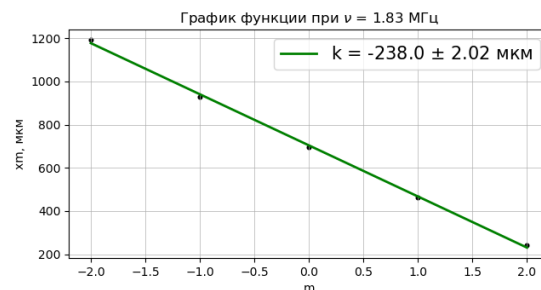
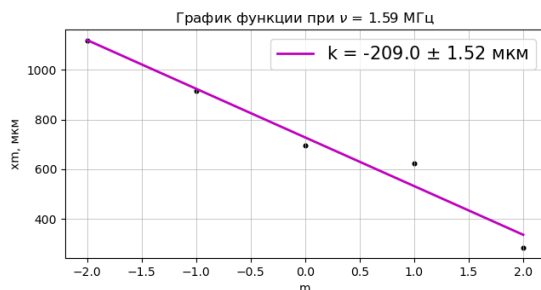
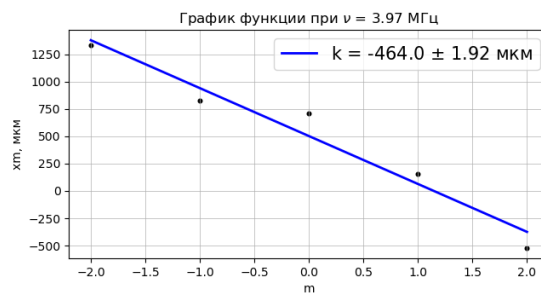
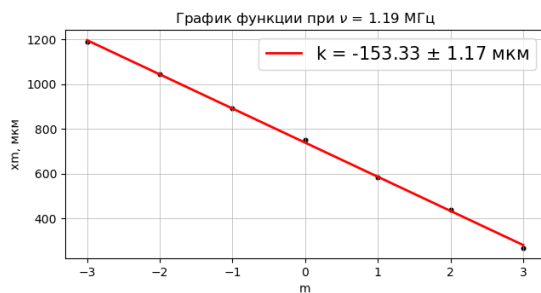
По результатам измерений построим графики зависимости  $x_m(\text{м})$  для всех частот

По коэффициенту наклона для каждой частоты найдём  $\Lambda$  по формуле (2)

По формуле (3) находим значение скорости ультразвука.

Результаты заносим в таблицу

$\nu, \text{ МГц}$	$\Lambda, \text{ мм}$	$\sigma_\Lambda, \text{ мм}$	$v, \text{ м/с}$	$\sigma_v, \text{ м/с}$
1.19	1.32	0.17	1571.6	198.4
3.97	0.43	0.05	1732.6	218.3
1.59	0.97	0.12	1540.6	194.4
1.83	0.85	0.17	1557.0	305.1



## 6.2 Определение скорости ультразвука методом тёмного поля

Рассчитаем длину УЗ-волны с учётом удвоением числа деталей, наблюдаемых методом тёмного поля.

Определим скорость УЗ в воде

Результаты занесём в таблицу

$\nu$ , МГц	$\Lambda$ , мм	$\sigma_\Lambda$ , мм	$v$ , м/с	$\sigma_v$ , м/с
1.17	1.250	0.007	1462.5	10.3
1.6	0.772	0.008	1236.3	12.7
1.83	0.559	0.004	1022.2	8.7
1.43	1.071	0.006	1532.1	10.0

## 7 Вывод:

В работе изучена дифракция света на акустической решетки, рассчитаны длина волны ультразвука и скорость его распространения в воде. Решетка наблюдалась методом темного поля.