

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Лабораторная работа 4.3.2  
«Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости  
(Горизонтальная щель)»

Овсянников Михаил Александрович  
студент группы Б01-001  
2 курс ФРКТ

г. Долгопрудный  
2022 г.

**Цель работы:** изучение дифракции света на синусоидальной акустической решетке и наблюдение фазовой решетки методом темного поля.

**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.

## Теоретические сведения

При прохождении ультразвуковой волны через жидкость в ней возникают периодические неоднородности коэффициента преломления, 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  $\phi$  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  $\theta$ , соответствующими максимумам в дифракции Фраунгофера:

$$\Lambda \sin \theta_m = m\lambda$$

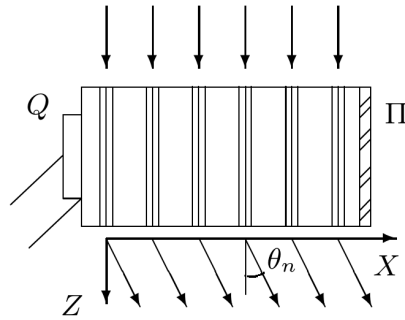
Этот эффект проиллюстрирован на рисунке 1.

Зная положение дифракционных максимумов, 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:

$$\Lambda = m\lambda F/l_m$$

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

$$v = \Lambda\nu$$

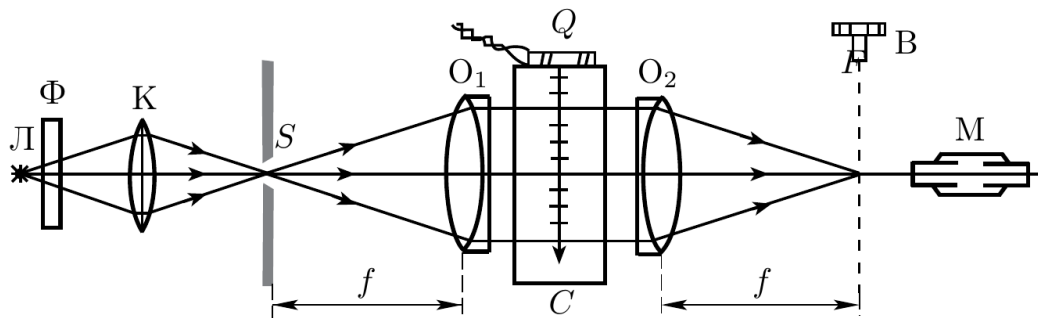


**Рис. 1.** Дифракция световых волн на акустической решетке

## Экспериментальная установка

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

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

Фокусное расстояние объектива  $O_2$ :  $F = 28$  см, цена деления винта микроскопа – 4 мкм, погрешность измерений примем равной  $\sigma = 1$  деление, или 4 мкм. Полоса пропускания фильтра  $\lambda = 6400 \pm 200 \text{ \AA}$ .

# Ход работы

## I. Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

1. Соберем схему согласно рисунку. Отцентрируем систему и установим ширину щели равной 25 мкм.
2. Получим дифракционную картину.

Перемещая излучатель с помощью лимба, оценим по порядку величины длину УЗ волны как удвоенное расстояние между наиболее четкими картинками:  $\Lambda = 2 \cdot 53 \text{ дел} \cdot 10^{\frac{\text{мкм}}{\text{дел}}} = 1,06 \text{ мм}$ .

3. Определим положения дифракционных полос. С помощью перекрестия и микрометрического винта, установленного на выходе прибора, определим координату  $Y$  каждой светлой полосы в делениях винта.

Проделаем данную операцию для трех частот. Результаты занесем в таблицу 1.

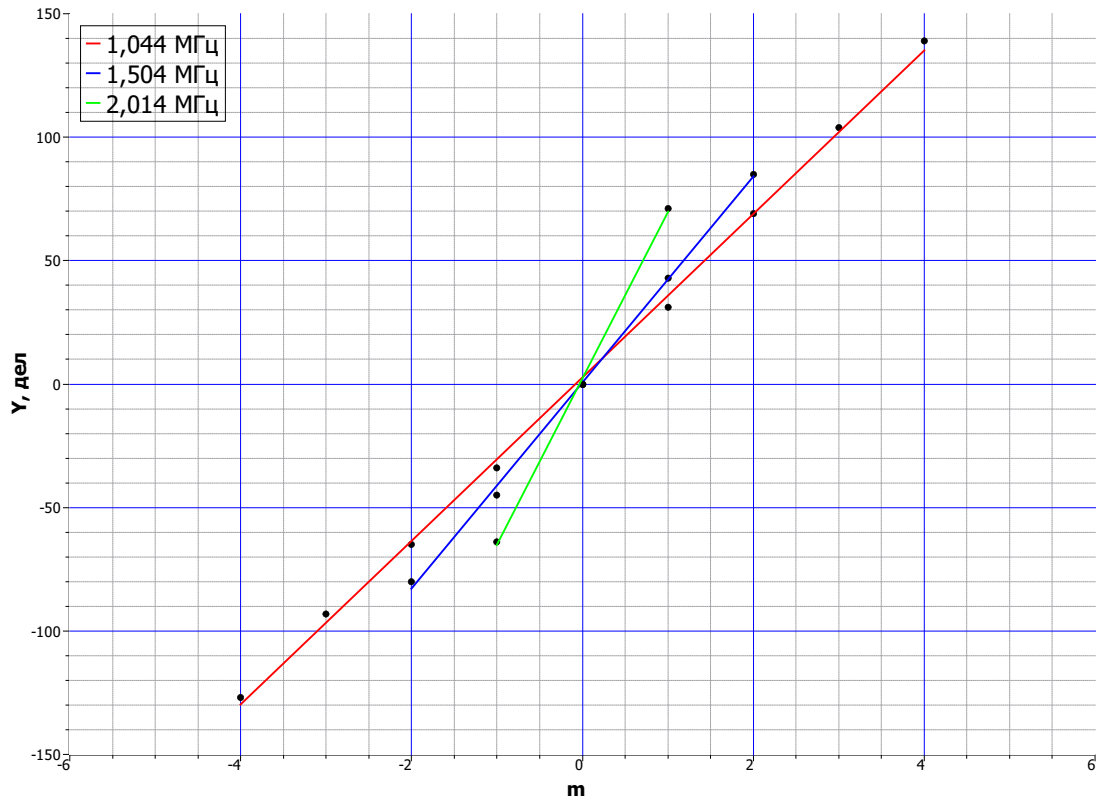
$m$	$Y$ , дел
$\nu = 1,044 \text{ МГц}$	
-4	-127
-3	-93
-2	-65
-1	-34
0	0
1	31
2	69
3	104
4	139

$m$	$Y$ , дел
$\nu = 1,504 \text{ МГц}$	
-2	-80
-1	-45
0	0
1	43
2	85

$m$	$Y$ , дел
$\nu = 2,014 \text{ МГц}$	
-1	-64
0	0
1	71

Таблица 1. Результаты измерений

4. Построим на одном листе графики  $Y = Y(m)$  для каждой частоты. Все на графике 1.



**Рис. 3.** Зависимость  $Y(m)$  для разных частот

Для прямых на рисунке получаем коэффициенты наклона:

$$k_1 = (33,1 \pm 0,5) \text{ дел} \quad k_2 = (41,8 \pm 0,9) \text{ дел} \quad k_3 = (68 \pm 2) \text{ дел}$$

5. Рассчитаем длину УЗ-волны и скорость звука для каждой частоты.

$$\Lambda = \frac{mf\lambda}{l_m} \quad v = \Lambda\nu$$

$\nu, 1,044 \text{ МГц}$	
$\Lambda, \text{ мм}$	$1,36 \pm 0,05$
$v, \text{ м/с}$	$1420 \pm 50$
$\nu, 1,504 \text{ МГц}$	
$\Lambda, \text{ мм}$	$1,09 \pm 0,04$
$v, \text{ м/с}$	$1640 \pm 60$
$\nu, 2,014 \text{ МГц}$	
$\Lambda, \text{ мм}$	$0,66 \pm 0,03$
$v, \text{ м/с}$	$1330 \pm 60$

**Таблица 2.** Обработанные результаты

Как видно, результаты достаточно близки друг к другу и почти совпадают с табличными значениями:  $v = 1500 \text{ м/с}$ .

## II. Определение скорости ультразвука методом темного поля

1. Для перехода к методу темного поля отодвинем микроскоп от щели и разместим в промежутке между ними дополнительную линзу.

Поднимем излучатель над кюветой и опустим в воду квадратную сетку. Отцентрируем систему, чтобы сетку было четко видно в микроскопе. Рассчитаем цену деления в этом эксперименте, зная, что размер квадрата сетки 1 мм. Получаем

$$0,14 \frac{\text{мм}}{\text{дел}}$$

2. Установим ширину щели 25 мкм. Уберем калибровочную сетку и опустим излучатель. Постараемся увидеть звуковую решетку.
3. Закроем нулевой дифракционный максимум провололочкой. Поле зрения микроскопа затемняется.
4. Меняя частоту, будем наблюдать акустическую решетку.
5. Зафиксируем с помощью окулярной шкалы микроскопа координаты первой и последней из хорошо видимых темных полос и количество светлых промежутков между ними. Прделаем это для 4 разных частот. Результаты пишем в таблицу 3.

$\nu$ , МГц	Координата верхней полосы	Координата нижней полосы	Количество светлых полос
1,0056	60	0,0	12
1,1900	68	0,0	20
1,3700	53	0,1	14
1,6500	67	0,0	20

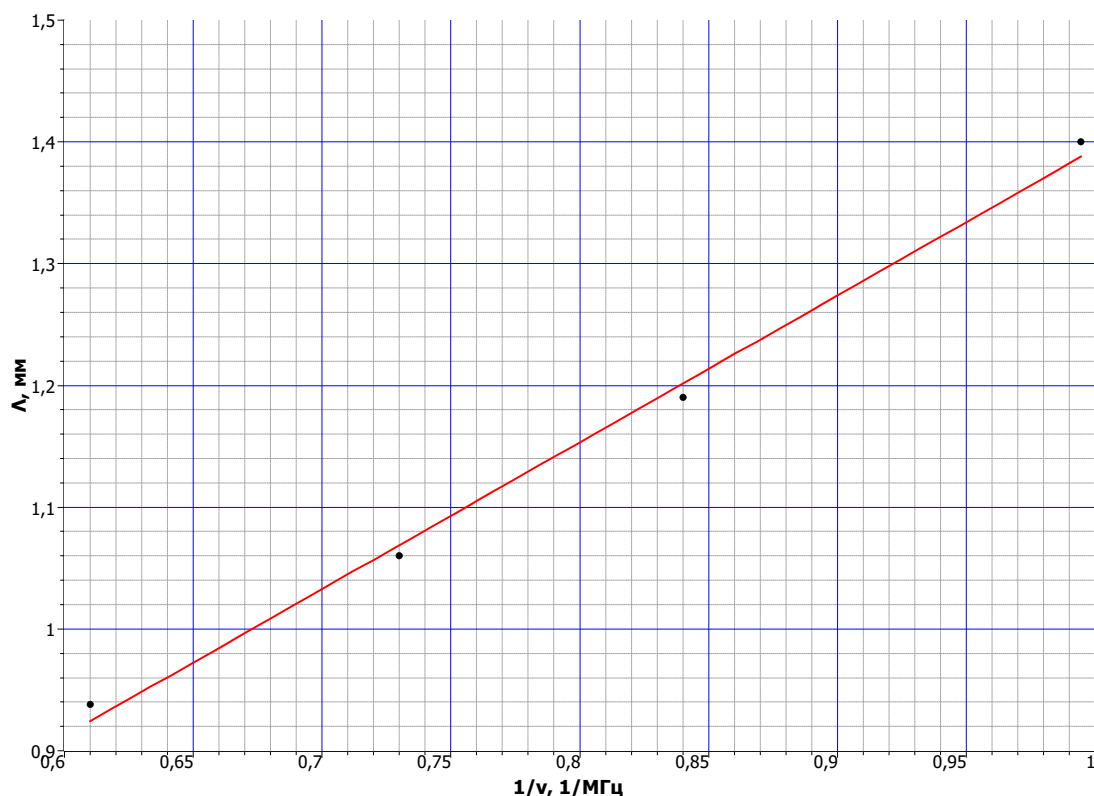
**Таблица 3.** Результаты

6. Для каждой частоты рассчитаем длину  $\Lambda$  УЗ-волны. Посчитанные значения заносим в таблицу 4.

$\nu$ , МГц	$\Lambda$ , мм
1,0056	1,412
1,1900	1,190
1,3700	1,060
1,6500	0,938

**Таблица 4.** Зависимость длины волны от частоты

7. Построим график зависимости  $\Lambda(1/\nu)$ .



**Рис. 4.** График зависимости  $\Lambda(1/\nu)$

По наклону определим скорость ультразвука.

$$v = \Lambda\nu = k = (1,46 \pm 0,09) \text{ мм} \cdot \text{МГц} = (1460 \pm 90 \text{ м/с}).$$

Значение близко к тому, что было найдено ранее. Вдобавок в пределах погрешностей оно совпадает с табличным.

## Вывод

В данной работе мы изучили дифракцию света на синусоидальной акустической решетке и наблюдали фазовую решетку методом темного поля. Помимо этого было определено значение скорости ультразвука в воде:  $(1460 \pm 130) \text{ м/с}$ , что достаточно близко к табличному значению в  $1500 \text{ м/с}$  и в пределах погрешности вовсе совпадает. Присутствуют ошибки как систематические, так и случайные. Большой вклад вносят последние. Однако общая ошибка составляет не более 9%, что является хорошим результатом. Все эти ошибки связаны с несовершенством техники измерения.