

Московский физико-технический институт  
(государственный университет)

Лабораторная работа по оптике

**Дифракция на ультразвуковых волнах [4.3.2]**

Талашкевич Даниил Александрович  
Группа Б01-009

Долгопрудный  
2022

# Содержание

<b>1</b>	<b>Аннотация</b>	<b>1</b>
1.1	Теоретическое введение . . . . .	1
1.2	Экспериментальная установка . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Ход работы</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Обработка результатов</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Вывод</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Литература</b>	<b>6</b>

# 1 Аннотация

**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.

## 1.1 Теоретическое введение

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:

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

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:

$$\phi = knL = \phi_0(1 + m \cos \Omega x) \quad (2)$$

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:

$$\Lambda \sin \theta_m = m\lambda \quad (3)$$

Этот эффект проиллюстрирован на рисунке 1. 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:

$$\Lambda = m\lambda F/l_m \quad (4)$$

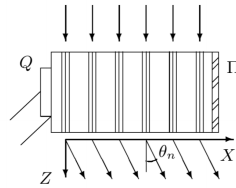


Рис. 1: Дифракция световых волн на акустической решетке

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

$$v = \Lambda \nu \quad (5)$$

## 1.2 Экспериментальная установка

Схема установки приведена на рисунке 2. Источник света Л через свето-фильтр Ф и конденсор К освещает вертикальную щель S, находящуюся в фокусе объектива  $O_1$ . После объектива параллельный световой пучок проходит через кювету С перпендикулярно акустической решетке, и дифракционная картина собирается в фокальной плоскости объектива  $O_2$ , наблюдается при помощи микроскопа М.

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

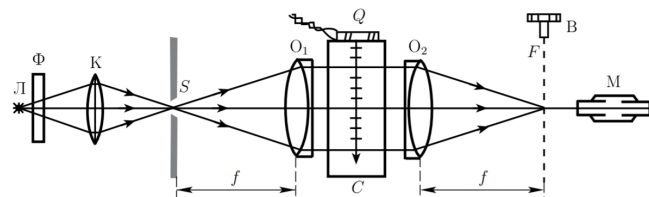


Рис. 2: Схема для наблюдения дифракции на акустической решетке

Параметры установки: фокусное расстояние объектива  $F = 30$  см, одно деление винта микроскопа составляет 20 мкм, полоса пропускания фильтра  $\lambda = 6400 \pm 200 \text{ \AA}$ .

## 2 Ход работы

1. Исследовали изменения дифракционной картины на красном свете. При увеличении частоты УЗ-генератора и приближении к 1,1 МГц проявляется дифракционная решетка: расстояние между максимумами растёт.

Измерили положения  $x_m$  дифракционных максимумов с помощью микроскопического винта для пяти частот. Для каждой полосы измерили крайние координаты и рассчитали среднее относительно нулевого максимума как координату полосы. Результаты измерений занесли в таблицы ниже. На основе каждой таблицы построили графики зависимости  $x_m(m)$ .

Для частоты  $\nu_2 = 1,0116 \pm 0,0001$  МГц:

$m$	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$l_m$ , дел.	2,15	2,40	2,70	3,00	3,35	3,60	3,90	4,20
$r_m$ , дел.	2,30	2,60	2,90	3,20	3,50	3,80	4,05	4,35
$x_m$ , дел.	2,225	2,50	2,80	3,10	3,425	3,70	3,975	4,275
$x_m$ , мкм	-350	-240	-120	0	130	240	350	470

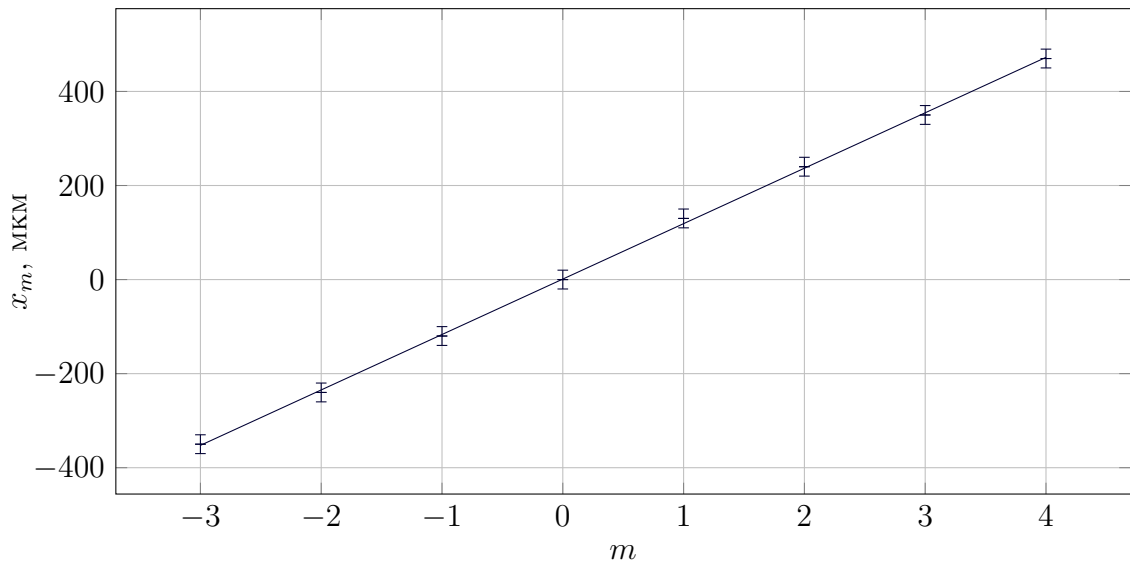
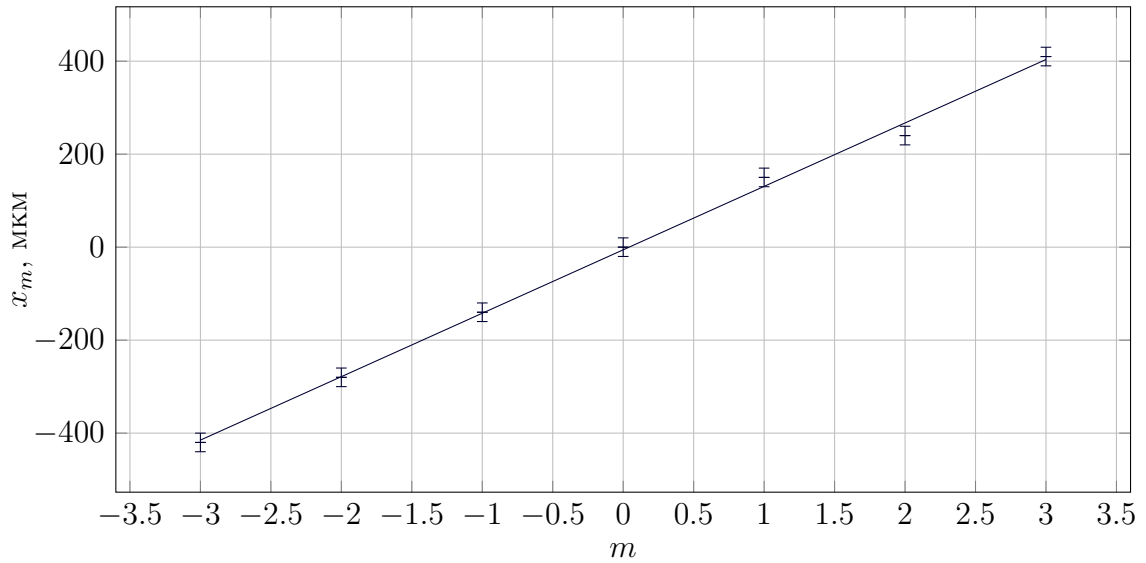


Рис. 3:  $x_m(m)$  на частоте  $\nu_1$

2. Для частоты  $\nu_1 = 1,2092 \pm 0,0001$  МГц:

$m$	-3	-2	-1	0	1	2	3
$l_m$ , дел.	1,95	2,30	2,65	3,00	3,40	3,70	4,05
$r_m$ , дел.	2,15	2,50	2,85	3,20	3,55	3,85	4,20
$x_m$ , дел.	2,05	2,40	2,75	3,10	3,475	3,775	4,125
$x_m$ , МКМ	-420	-280	-140	0	150	240	410

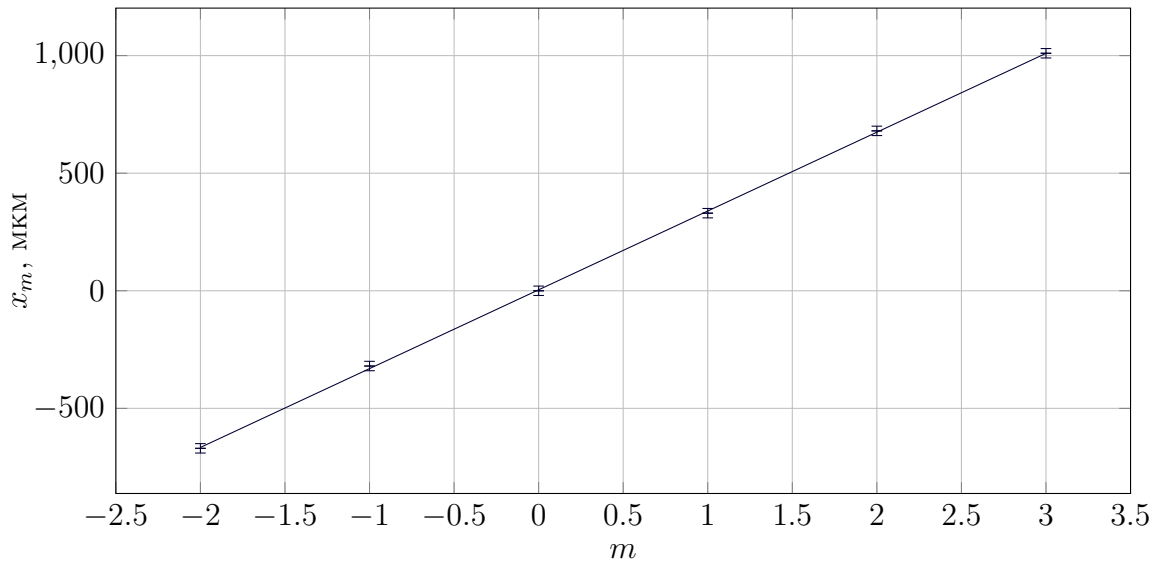
Рис. 4:  $x_m(m)$  на частоте  $\nu_2$ 

3. Для частоты  $\nu_3 = 2,9332 \pm 0,0001$  МГц:

$m$	-2	-1	0	1	2	3
$l_m$ , дел.	1,35	2,20	3,00	3,85	4,70	5,55
$r_m$ , дел.	1,60	2,40	3,20	4,0	4,90	5,70
$x_m$ , дел.	1,425	2,30	3,10	3,925	4,80	5,625
$x_m$ , МКМ	-670	-320	0	330	680	1010

4. Дальше резонансы получать всё сложнее, к тому же в поле обзора попадает меньше полос либо полосы второго порядка не возникают. Графики по трём точкам строить бессмысленно. Для частоты  $\nu_4 = 4,6086 \pm 0,0001$  МГц:

$m$	-1	0	1
$l_m$ , дел.	1,70	3,00	4,35
$r_m$ , дел.	1,85	3,20	4,50
$x_m$ , дел.	1,775	3,10	4,425
$x_m$ , МКМ	-530	0	530

Рис. 5:  $x_m(m)$  на частоте  $\nu_3$ 

5. Для частоты  $\nu_5 = 5,1911 \pm 0,0001$  МГц:

$m$	-1	0	1
$l_m$ , дел.	1,55	3,00	4,55
$r_m$ , дел.	1,70	3,20	4,65
$x_m$ , дел.	1,625	3,10	4,60
$x_m$ , МКМ	-590	0	600

### 3 Обработка результатов

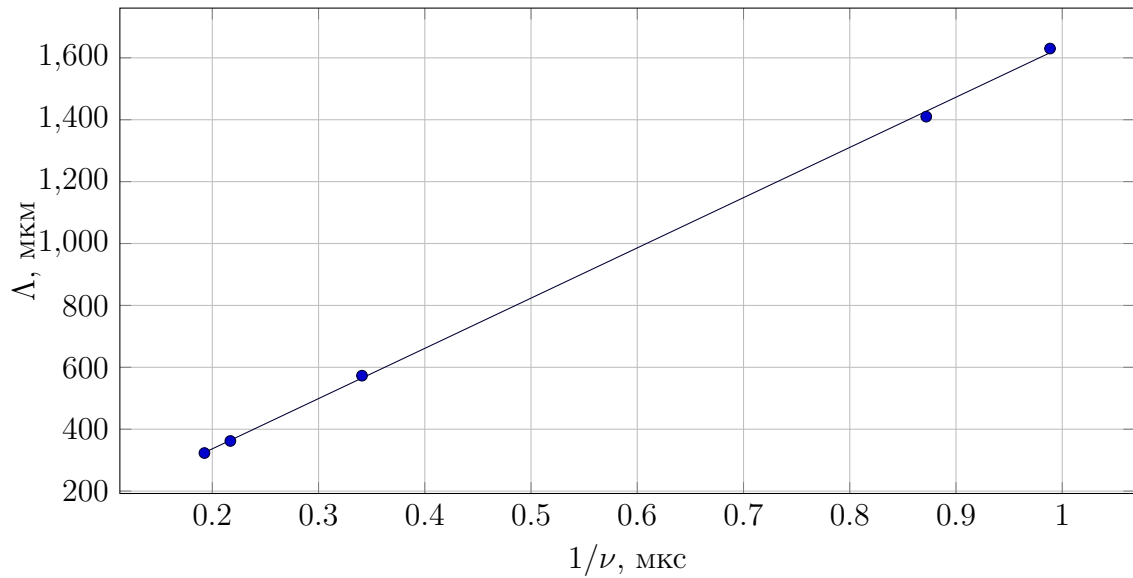
По составленным таблицам и коэффициентам наклона графика определим для каждой частоты  $l_m/m$ , чтобы по формуле (4) рассчитаем длины волн  $\Lambda$  для всех частот.

$\nu$ , МГц	1,0116	1,2092	2,9332	4,6086	5,1911
$l_m/m$ , МКМ	117,8	136	335	530	595
$\Delta(l_m/m)$ , МКМ	0,9	3	5	20	20
$\Lambda$ , МКМ	1630	1410	573	362	323
$\Delta\Lambda$ , МКМ	50	60	30	13	10

Построили график  $\Lambda(1/\nu)$ . По коэффициенту наклона определили скорость ультразвука в воде из формулы (5):

$$v = 1620 \pm 20 \text{ м/с.}$$

Для сравнения табличное значение составляет  $v = 1490 \text{ м/с.}$

Рис. 6:  $\Lambda(1/\nu)$ 

## 4 Вывод

Изучили явление дифракции света на ультразвуковой волне в воде. Сняли зависимость длины волны ультразвука от его частоты, и по этим параметрам получили значение скорости ультразвука в воде:

$$v_{\text{эксп}} = 1620 \pm 20 \text{ м/с.}$$

$$v_{\text{табл}} = 1490 \pm 20 \text{ м/с.}$$

Сравнивая значение с табличным, точность экспериментального результата составила  $\approx 8,7\%$ .

## 5 Литература

1. Лабораторный практикум по общей физике. В 3 т. Том 2. Оптика: учебное пособие
2. <http://mathhelpplanet.com> (МНК и регрессионный анализ)