

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа биологической и медицинской физики

## Лабораторная работа по общей физике

### 4.3.2 Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости

Выполнила студентка группы Б06-103:  
Фитэль Алена

Долгопрудный, 2023 г.

# 1 Введение

**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.

## 2 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:

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

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.

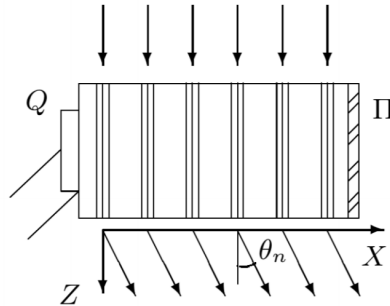


Рисунок 1: Дифракция световых волн на акустической решетке

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:

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

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

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

**Схема установки.** Схема установки приведена на рисунке 2. Источник света Л через светофильтр 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.

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

Во второй части работы будет использован метод темного поля для определения скорости ультразвука. Для этого изменим изначальную схему согласно Рисунок 3.

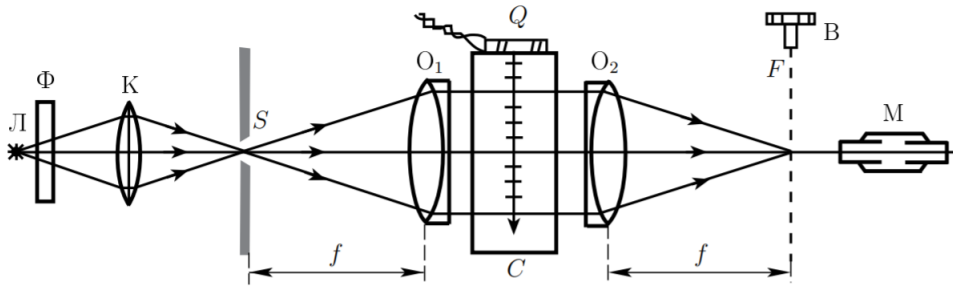


Рисунок 2: Схема для наблюдения дифракции на акустической решетке

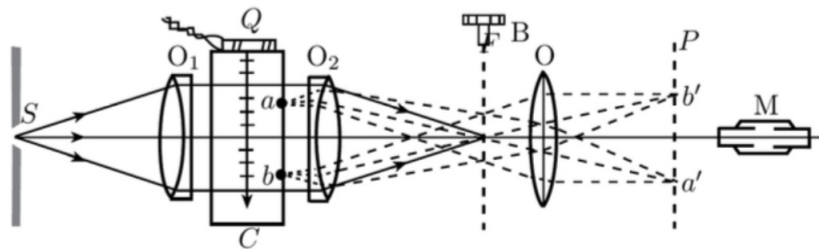


Рисунок 3: Схема для наблюдения акустической решетки методом темного поля

### 3 Обработка результатов

#### 3.1 Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

1. Измерим положения  $x_m$  дифракционных максимумов с помощью микроскопического винта для четырех частот. Результаты измерений приведены в Таблице 1. На основе таблицы для каждой из частот проведем линейную аппроксимацию зависимости  $x_m(m)$  (Рисунок 3).

$\nu$ , МГц	$m$	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
1,17	$x_m, \text{text}$	450	730	1080	1370	1730	2060	2360	2700	2950
1,82		-	50	460	1150	1590	2110	2710	3280	-
1,55		-	460	790	1230	1610	2030	2540	3000	-
3,96		-	-	440	1500	2790	3730	5070	-	-

Таблица 1: Измерение координаты m-го максимума дифракционной картины для разных частот

2. По полученным коэффициентам наклона графика определим для каждой частоты  $l_m/m$ , и по формуле (4) рассчитаем длины волн  $\Lambda$  для всех частот. Результаты приведены в Таблице 2.

$\nu$ , МГц	1.17	1.55	1.82	3.96
$l_m/m$ , мкм	133.04	177.38	225.41	478.75
$\Lambda$ , мкм	1343	1082	852	401

Таблица 2: Длины волн для разных частот

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

$$v = 1591 \pm 52 \text{ м/с.}$$

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

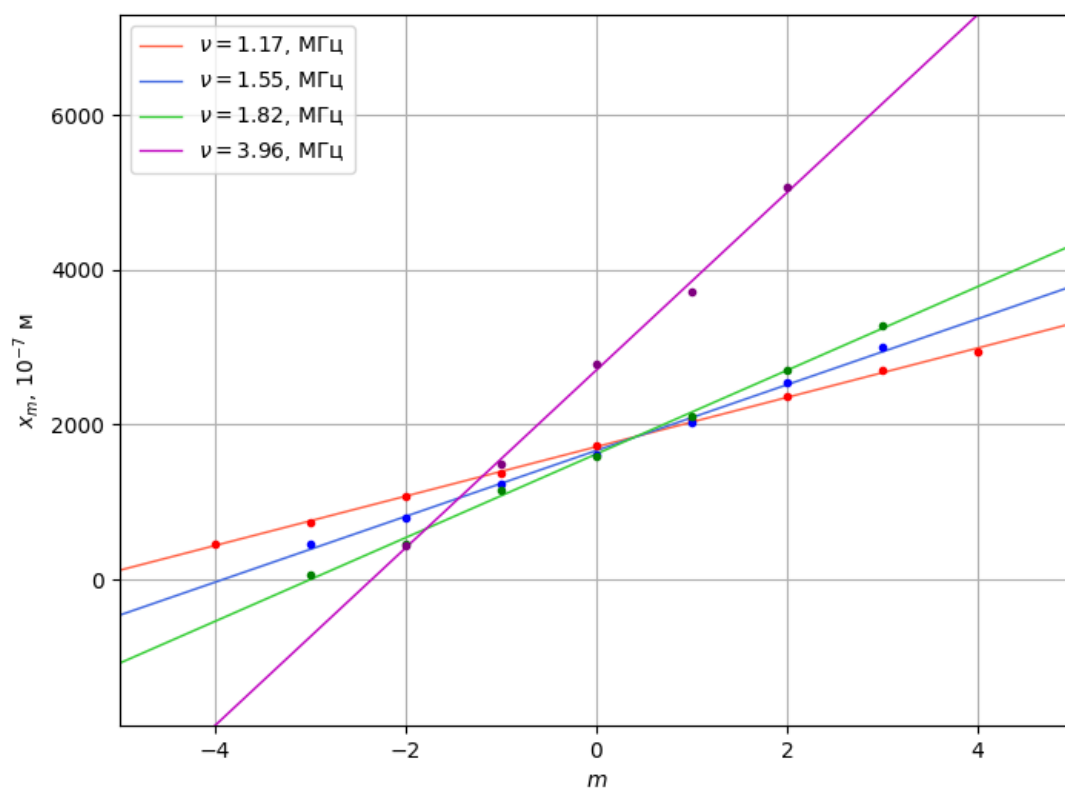


Рисунок 4: Графики зависимостей  $x_m(t)$  для разных частот

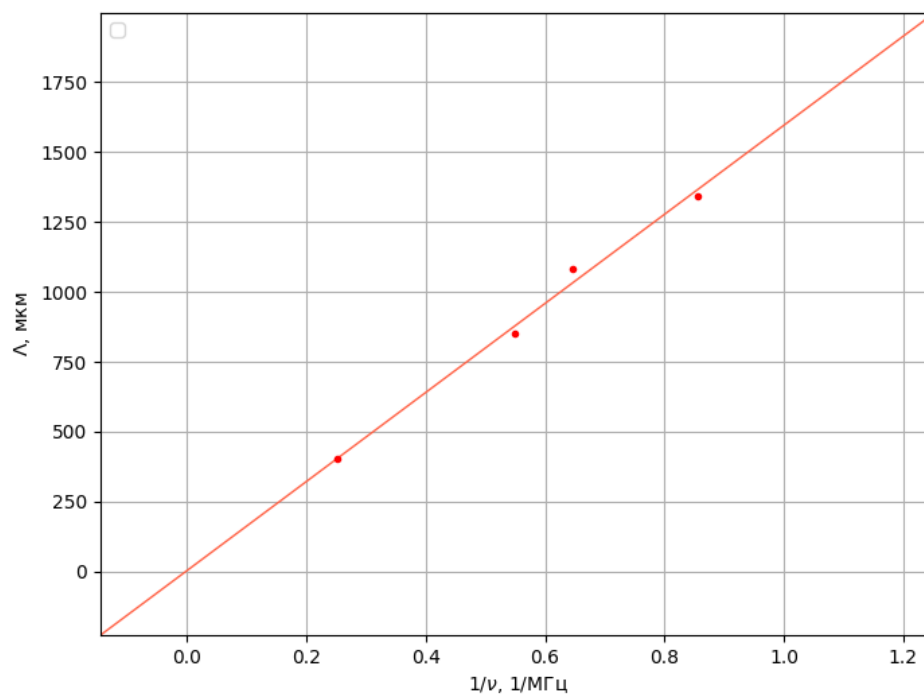


Рисунок 5: Графики зависимости длин УЗ-волн от частоты

### 3.2 Определение скорости ультразвука методом темного экрана

1. Приставим к задней стенке (для светового луча) кюветы стеклянную пластинку с миллиметровыми делениями; сфокусируем микроскоп на изображение пластинки. Определим цену деления окулярной шкалы микроскопа, совместив ее с миллиметровыми делениями: цена деления окулярной шкалы:  $C = 0,60 \pm 0,02$ .
2. Без применения метода темного поля звуковая решетка не наблюдается. Закроем нулевой максимум горизонтальной нитью. Таким образом, осевая составляющая фазово-модулированной волны поглощается, а боковые остаются без изменения. Получившееся поле:

$$f(x) = \frac{im}{2}e^{i\Omega x} + \frac{im}{2}e^{-i\Omega x} = im \cos \Omega x; I(x) = m^2 \cos^2 \Omega x = m^2 \frac{1 + \cos^2 2\Omega x}{2} \quad (6)$$

Отсюда получаем, что расстояние между темными полосами есть  $\Lambda/2$ .

Формулы для расчета длины волны ультразвука  $\Lambda$  и скорости распространения  $v$  в воде:

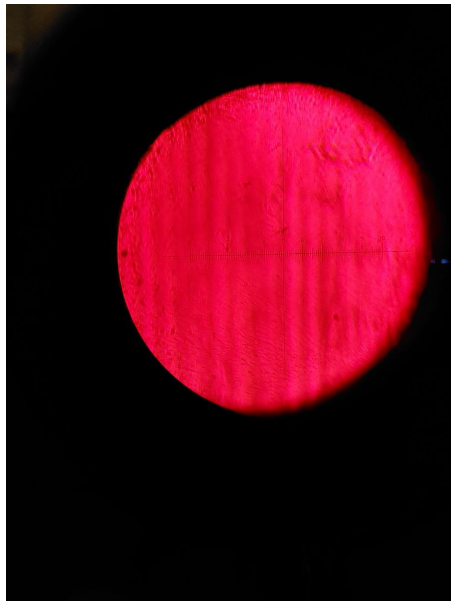
$$\Lambda/2 = NC/(n-1), \quad v = \nu\Lambda \quad (7)$$

3. Проведем измерение длины ультразвуковой волны. Полученные данные и проведенные расчеты представлены в Таблице 3.

$\nu$ , МГц	Количество делений шкалы окуляра, N	Количество темных полос акустической решетки, n	$\Lambda$ , мм	$v$ , м/с	$\delta\Lambda$ , мм	$\delta v$ , м/с
1.2	100	11	1.2	1440	0.03	36
1.56	100	13	1.0	1560	0.03	47

Таблица 3: Вычисление длины ультразвуковой волны и ее скорости распространения в воде методом темного поля.

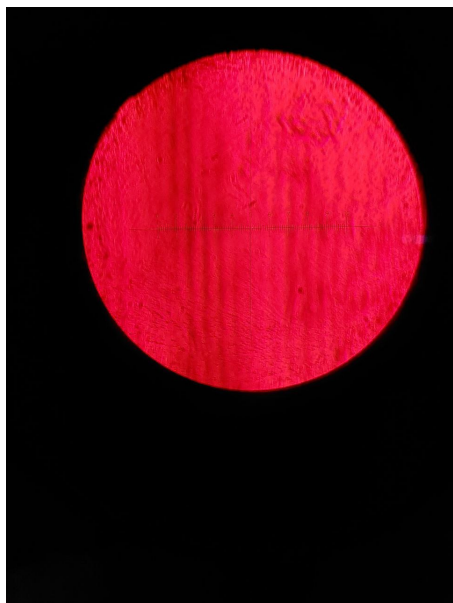
Усреднив результат получим:  $v = 1500 \pm 42$  м/с.



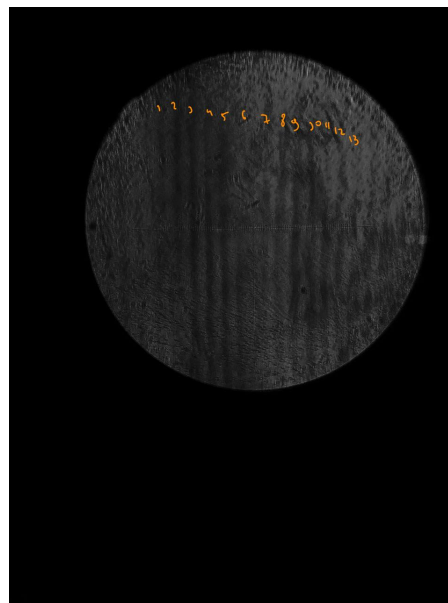
Наблюдаемая картина при частоте 1.20 МГц.



Наблюдаемая картина при частоте 1.20 МГц в контрасте.



Наблюдаемая картина при частоте  
1.20 МГц.



Наблюдаемая картина при частоте  
1.20 МГц в контрасте.

#### 4 Обсуждение результатов и вывод

В работе была изучена дифракция света на акустической решетки, рассчитаны длина волны ультразвука и скорость его распространения в воде двумя способами: с помощью данных, полученных после измерения дифракционной картины и с помощью метода темного поля. Полученные результаты:  $v = 1591 \pm 52$  м/с. (дифракция) и  $v = 1500 \pm 42$  м/с - темное поле, при табличном значении  $v = 1490$  м/с.