

Московский физико-технический институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по общему курсу физики
Оптика

**Дифракция света на ультразвуковой волне в
жидкости.**

Таранов Александр
Группа Б01-206

Содержание

1	Теоретическое введение	1
2	Экспериментальная установка	2
3	Обработка результатов	3
3.1	Параметры установки	3
4	Результаты	3
4.1	Дифракционная картина	3
4.2	Метод темного поля	5
5	Результаты	6

Цель работы: изучение дифракции света на синусоидальной акустической решётке и наблюдение фазовой решётки методом тёмного поля.

В работе используются: оптическая скамья, осветитель, два длиннофокусных объектива, кювета с жидкостью, кварцевый излучатель с микрометрическим винтом, генератор ультразвуковой частоты, линза, вертикальная нить на рейтете, микроскоп.

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 ϕ 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 θ , 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 θ : $\sin \theta \approx \theta \approx l_m/F$, 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 ν — частота колебаний излучателя:

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

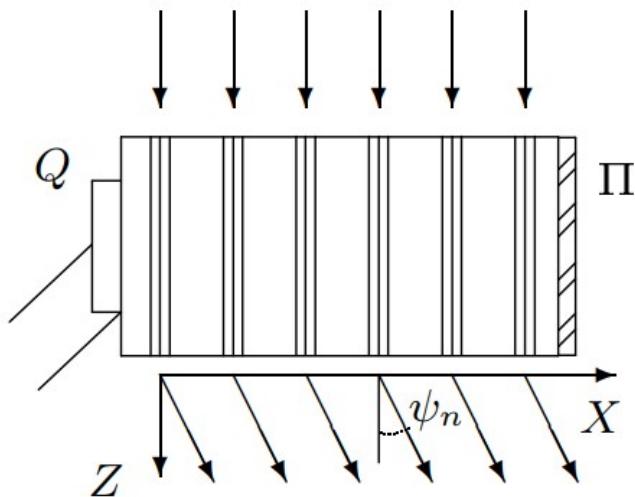


Рис. 1: Эффект дифракции на ультразвуковой волне

2. Экспериментальная установка

На рисунке 2 изображена схема экспериментальной установки. Источник света L с помощью конденсора K проецируется на входную щель S . Входная щель ориентирована горизонтально и прикрыта красным светофильтром Φ . Коллиматорный объектив O_1 посылает параллельный пучок на кювету с водой C . Излучатель Q создаёт УЗ-волну. Параллельный пучок света, дифрагируя на стоячей звуковой волне, образует дифракционную картину в фокальной плоскости F камера объектива O_2 . Картину можно наблюдать в микроскоп M .

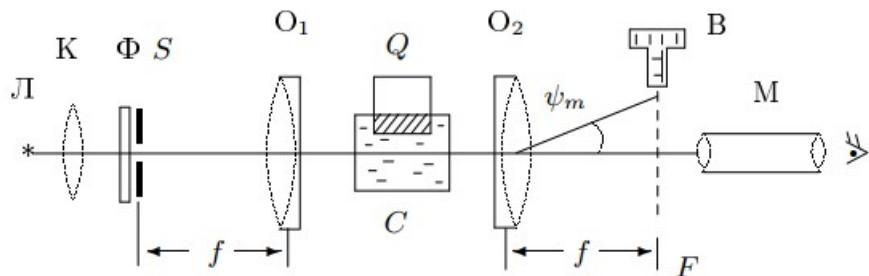


Рис. 2: Схема экспериментальной установки

3. Обработка результатов

3.1. Параметры установки

$$\lambda = (640 \pm 20) \text{ нм}$$

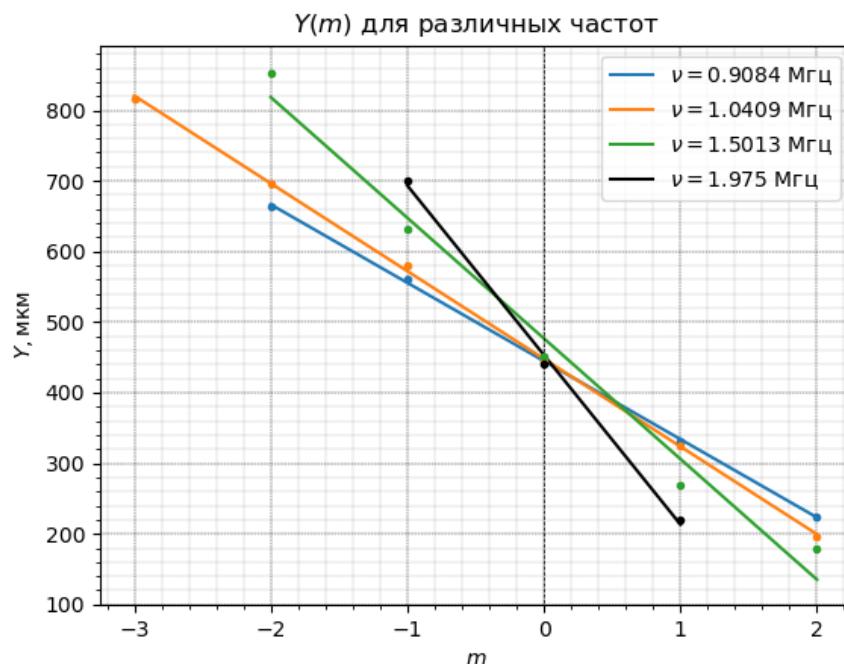
$F = 28 \text{ см}$ - фокусное расстояние O_2

4. Результаты

4.1. Дифракционная картина

С помощью перекрестья и микрометрического винта отсчетного устройства определили координаты Y каждой светлой полосы. С помощью частотометра определим соответствующие частоты. Сделаем это для 4 частот.

Построим на одном листе графики $Y = Y(m)$, определим расстояние между соседними полосами, зная фокусное расстояние объектива O_2 и полосу пропускания красного фильтра, рассчитаем длину УЗ-волны Λ и её погрешность по формулам:



$$l_m = mF\lambda/\Lambda$$

$$\Lambda = mF\lambda/l_m$$

$$v = \Lambda\nu$$

$$\sigma_\Lambda = \Lambda \sqrt{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Y \cdot 2}{l_m}\right)^2}$$

f, МГц	1.0409	1.5013	0.9084	1.975
Λ , мм	1.46	0.86	1.63	0.69
σ_Λ , мм	0.06	0.03	0.08	0.03
ϵ , %	3.8	3.7	4.8	4.3

И рассчитаем скорость звука для каждой частоты по формуле $v = \Lambda\nu$

f, МГц	1.0409	1.5013	0.9084	1.975
v , м/с	1520	1345	1479	1361
σ_v , м/с	58	50	70	60
ϵ , %	3.8	3.7	4.8	4.4

4.2. Метод темного поля

Откалибруем масштаб микроскопной шкалы по калибровочной сетке.

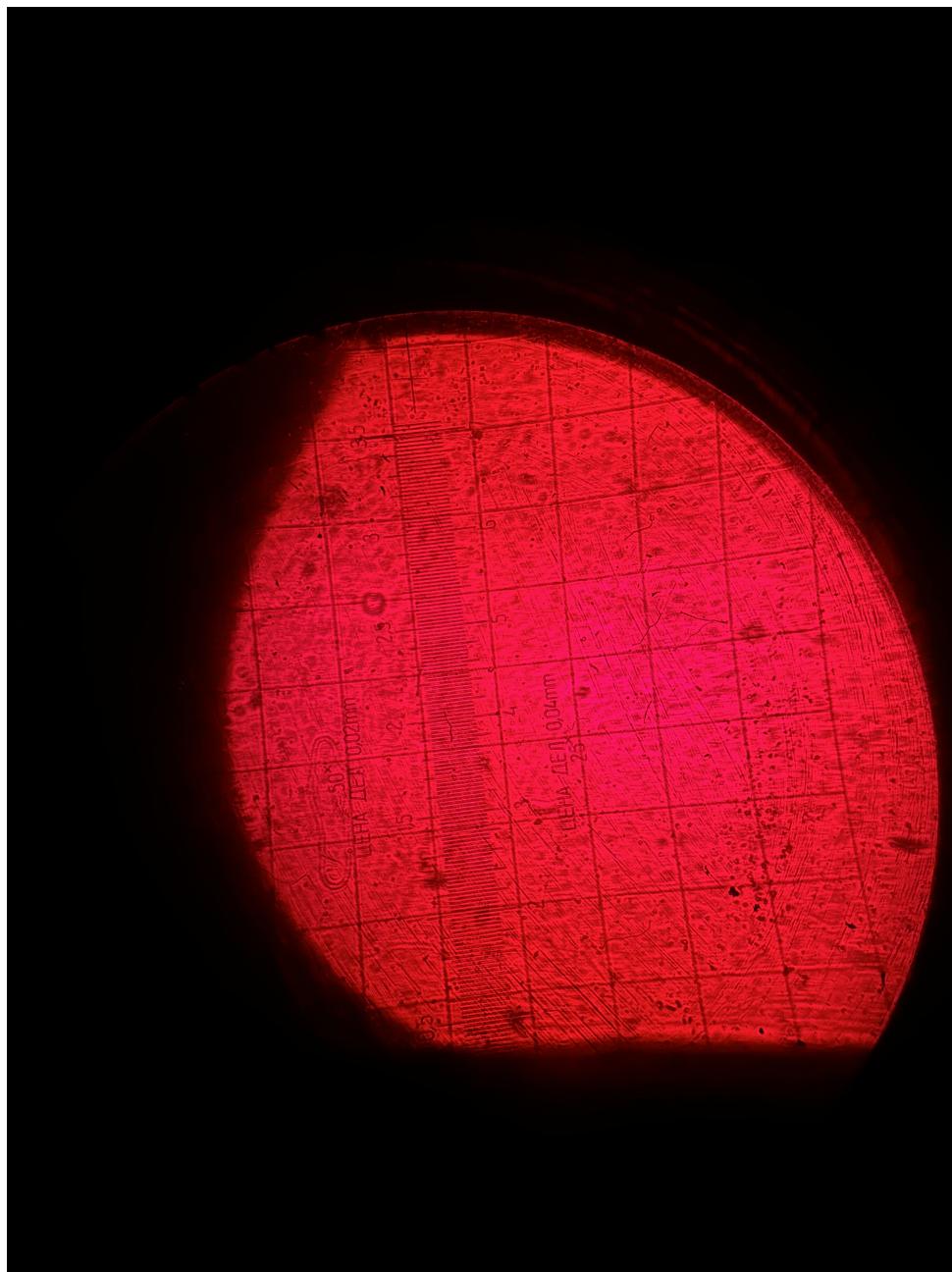


Рис. 3: Калибровочная сетка, со стороной 1 мм. Вид из окуляра микроскопа.

Одно деление микроскопа соответствует 1.2 мм.

По полученным координатам крайних полос (x_1, x_2) , количество полос и учитывая эффект удвоения, найдём Λ :

$$\Lambda = 2 \cdot \frac{x_1 - x_2}{n}$$

Построим график зависимости $\Lambda = F(1/\nu)$:

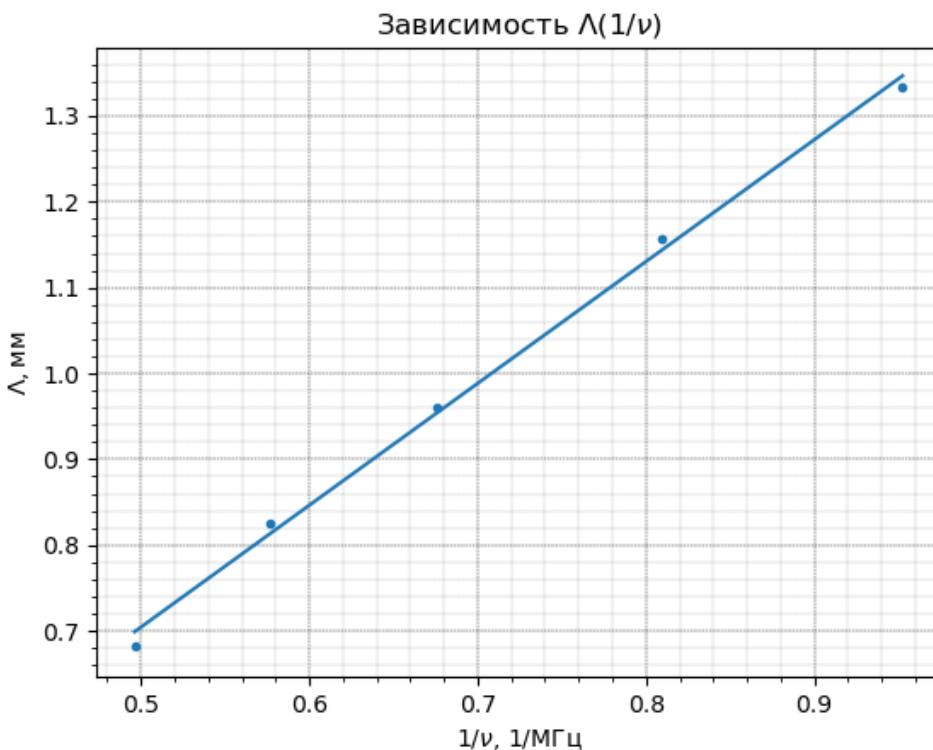


Рис. 4: Ожидаемая зависимость: $\Lambda = v \cdot 1/\nu$

По углу наклона найдем скорость звука:

$$v = (1419 \pm 45) \text{ м/с}$$

$$\epsilon = 3.2\%$$

5. Результаты

В работе были получены скорости звука двумя разными способами. Первый способ, использующий дифракционную картину даёт устредненный результат, хорошо сходящийся с табличным значением (отклонение от табличного: 4.0%), но имеющий довольно большую погрешность:

$$\langle v \rangle = (1427 \pm 54) \text{ м/с}$$

Способ использующий метод темного поля даёт похожий результат (отклонение от табличного: 4.5%), но с значительно меньшей погрешностью результата:

$$v = (1419 \pm 45) \text{ м/с}$$

Табличное значение скорости звука, для $20^\circ C$:

$$v = 1484 \text{ м/с}$$