

Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Работа 4.3.2.

Сибгатуллин Булат, ФРКТ

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.

Описание работы

Теоретическое введение

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

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 макси-

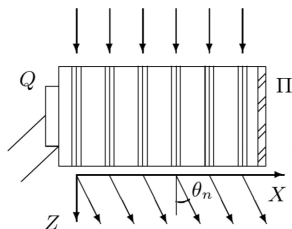


Рис. 1: Дифракция световых волн на акустической решетке

мумов, 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:

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

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.

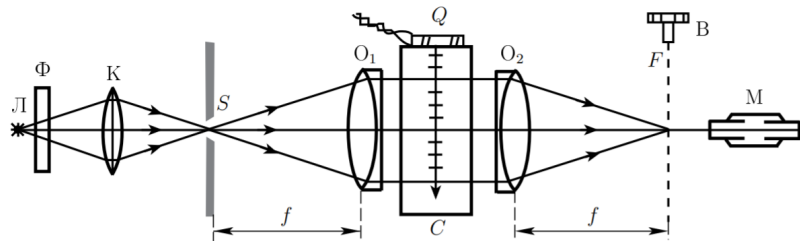


Рис. 2: Схема для наблюдения дифракции на акустической решетке

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

Ход работы

Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

1. Соберем схему согласно рис.2 и настроим ее так, чтобы в объективе была видна дифракционная картина:
2. Измерим положения x_m шести-восьми дифракционных максимумов с помощью поперечного микрометрического винта микроскопа, повторим измерения для 3-4-х частот в диапазоне от одного до 6-ти МГц.

$$f = 1,152 \text{ МГц}$$

m	3	2	1	0	-1	-2	-3
x , мкм	1184	1036	888	744	600	424	268

$$f = 3,946 \text{ МГц}$$

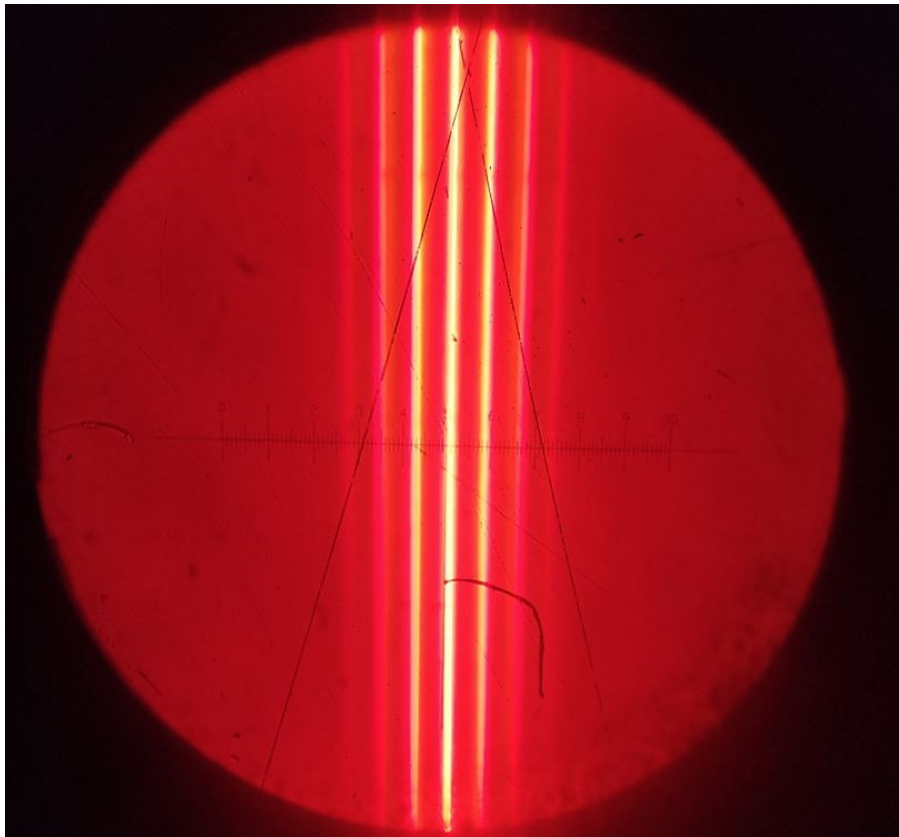


Рис. 3: Изображение дифракционных полос в объективе

m	-2	-1	0	1	2
x , мкм	112	592	1120	1628	2140

$$f = 1,812 \text{ МГц}$$

m	-2	-1	0	1	2
x , мкм	240	480	696	992	1176

$$f = 4,6 \text{ МГц}$$

m	-1	0	1
x , мкм	148	696	1316

$$f = 6,16 \text{ МГц}$$

m	-1	0	1
x , мкм	364	1184	2012

3. Построим графики зависимости $x_m/m = \Delta x_m / \Delta m$ для каждой частоты. Получим линейные зависимость вида $y = ax + b$, в нашем случае $x_m/m = a$:

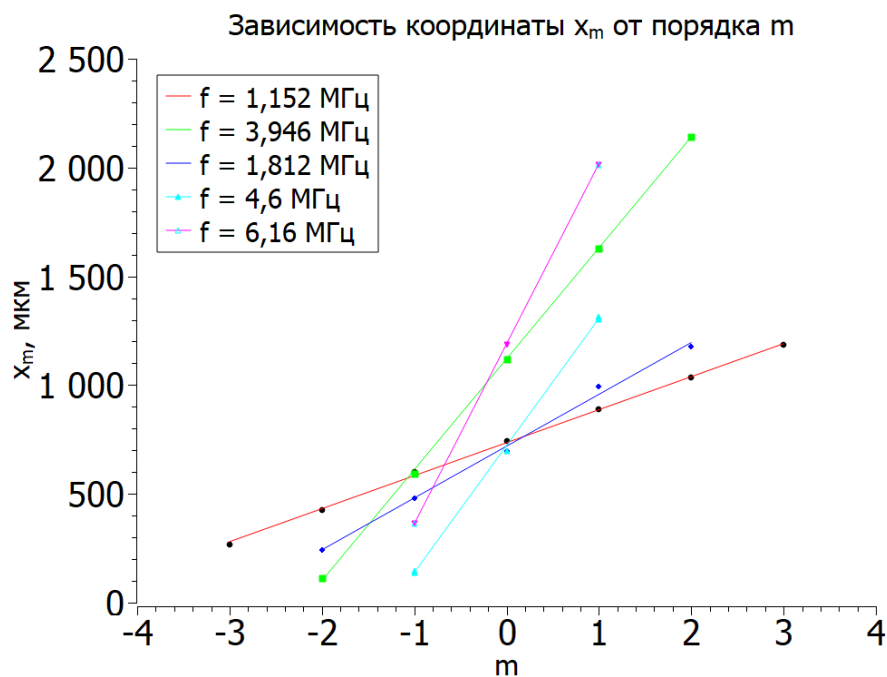
$$f = 1,152 \text{ МГц} \Rightarrow a = 152,1 \pm 2,1 \text{ мкм}$$

$$f = 3,946 \text{ МГц} \Rightarrow a = 509,2 \pm 3,9 \text{ мкм}$$

$$f = 1,812 \text{ МГц} \Rightarrow a = 238,4 \pm 8,4 \text{ мкм}$$

$$f = 4,6 \text{ МГц} \Rightarrow a = 584 \pm 20 \text{ мкм}$$

$$f = 6,16 \text{ МГц} \Rightarrow a = 842 \pm 2,3 \text{ мкм}$$

Рис. 4: Графики зависимости x_m/m

4. Найдем длину Λ УЗ-волны по формуле:

$$\Lambda = \frac{m}{l_m} F \lambda = \frac{F \lambda}{a},$$

где $a = a(f)$, а $\lambda = 640 \pm 20$ мкм и $F = 0,3$ м. Построим таблицу и график по получившимся данным:

Λ , мкм	228	329	377	807	1263
σ_Λ , мкм	2	11	3	28	17
$1/\nu$, мкс	0,1623	0,2174	0,2534	0,5519	0,8681

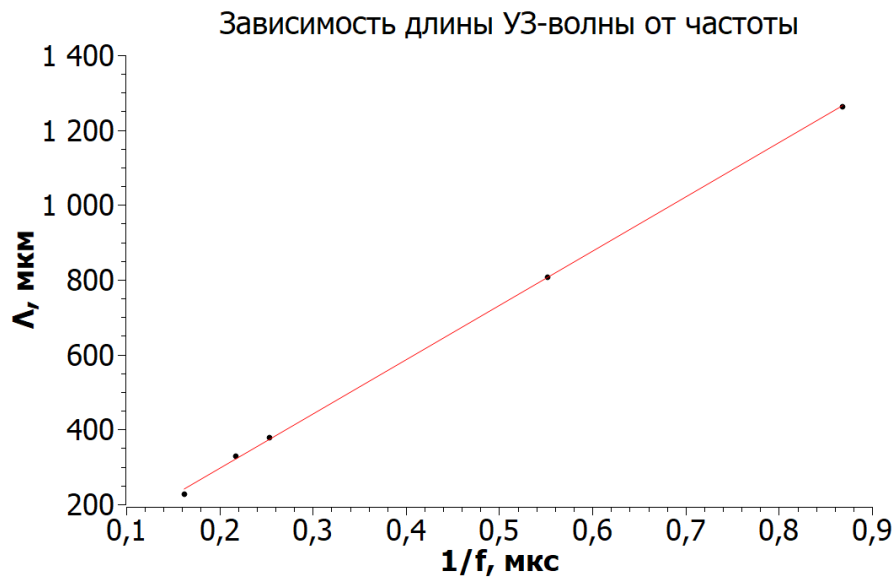


Рис. 5: Зависимость длины УЗ-волны от частоты

В итоге получим зависимость вида $y = ax + b$, где $a = 1452 \pm 53$. Зная, что:

$$v = \Lambda * \nu = \frac{\Lambda}{1/\nu},$$

получаем, что $a = v$, где v - скорость ультразвуковых волн в жилкости и она равна:

$$v = 1452 \pm 53 \text{ м/с}$$

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

Определение скорость ультразвука методом темного поля

5. Для перехода к методу темного поля отодвинем микроскоп от щели и разметим в промежутке между ними дополнительную линзу. Поднимем излучатель над кюветой, опустим в воду квадратную сетку и прижмем ее к задней по ходу луча стенке кюветы. Центрируя линзу найдем изображение сетки в микроскопе:

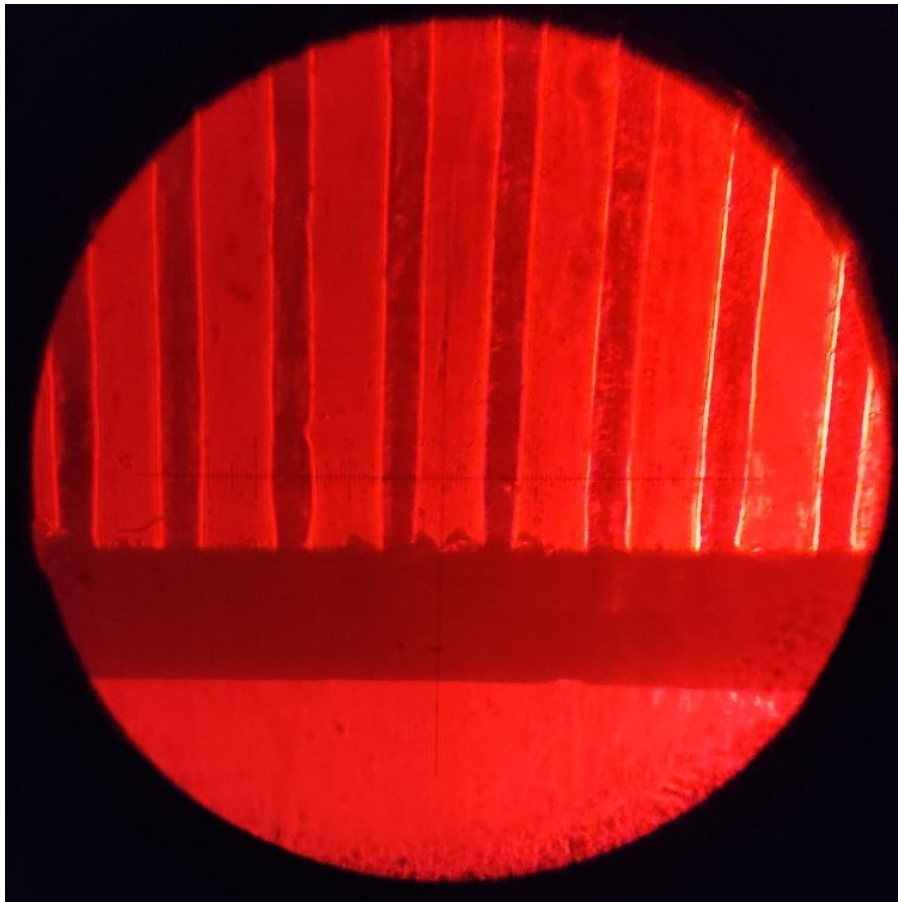


Рис. 6: Изображение сетки

Зафиксируем координаты совпадающих штрихов окулярной шкалы и сетки - 7 штрихов сетки соответствуют 9,1 делениям на окулярной шкале.

6. Для наблюдения акустической решетки установим рабочую глубину щели (20-30 мкм) и закроем нулевой дифракционный максимум проволоочкой. Уберем калибровочную сетку и варьируя частоту увидим акустическую решетку в микроскоп:

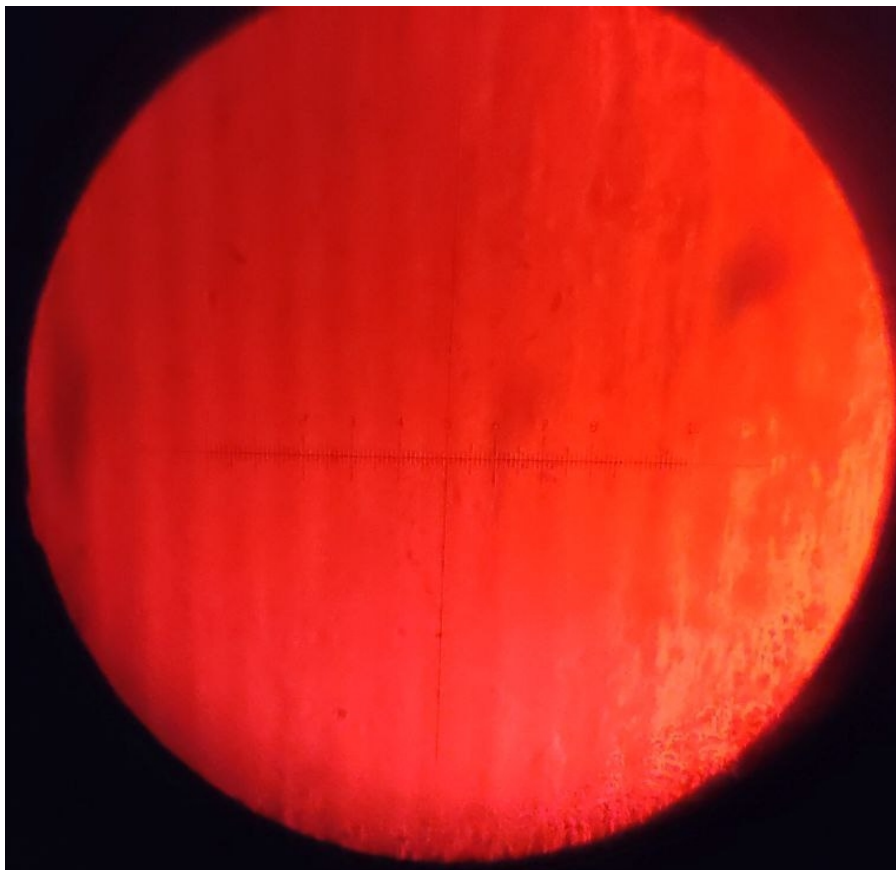


Рис. 7: Изображение звуковой решетки

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. Полученное значение совпало с табличным. Также пронаблюдали акустическую решетку.