

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики

Лабораторная работа 4.3.2
Дифракция света на ультразвуковой волне в
жидкости

Салтыкова Дарья

Б04-105

Долгопрудный 2023

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:

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

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:

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

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:

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

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:

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

Скорость ультразвуковых волн в жидкости, где ν — частота колебаний излучателя:

$$v = \Lambda\nu$$

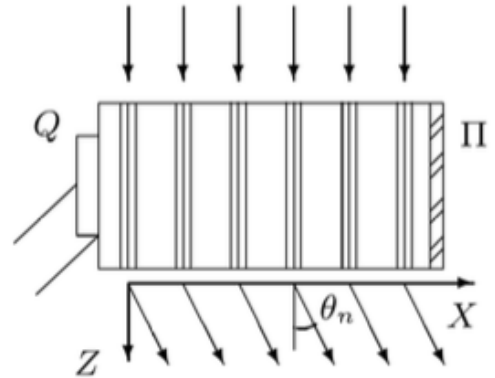


Рис. 1. Дифракция световых волн на акустической решетке

3 Экспериментальная установка

3.1 Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

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.

Настройку установки будем производить с зеленым фильтром, далее в работе будем использовать красный.

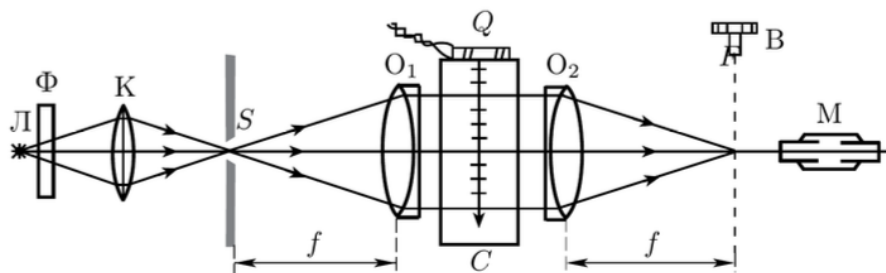


Рис. 2. Установка для наблюдения дифракции на акустической решетке

Параметры установки: фокусное расстояние объектива O_2 $F = 30$ см, одно деление винта микроскопа составляет 4 мкм, погрешность измерений примем равной $\sigma = 2$ деления, или 8 мкм.

3.2 Определение скорости ультразвука методом темного поля

Для наблюдения акустической решетки используется метод темного поля, который заключается в устранении центрального дифракционного максимума с помощью непрозрачного экрана. Схема установки показана на рисунке.

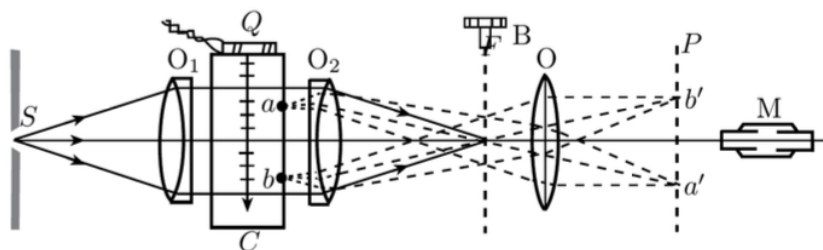


Рис. 3. Установка для наблюдения дифракции методом темного поля

4 Ход работы

4.1 Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

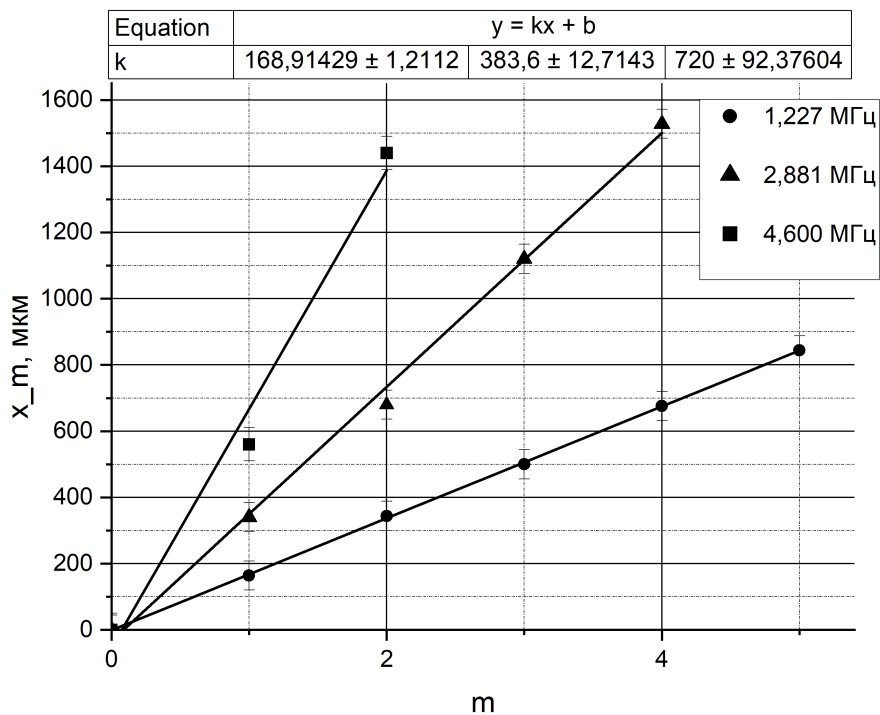
1. Проведя предварительную настройку, получим в поле зрения микроскопа систему дифракционных полос.
2. Определим положение нескольких дифракционных максимумов с помощью микрометрического винта отсчетного устройства. Повторим измерения для нескольких рабочих частот.

$\nu = 1,227$ МГц						
m	0	1	2	3	4	5
x_m , мкм	0	164	344	500	676	844

$\nu = 2,881 \text{ МГц}$					
m	0	1	2	3	4
$x_m, \text{МКМ}$	0	340	680	1120	1528

$\nu = 4,60 \text{ МГц}$			
m	0	1	2
$x_m, \text{МКМ}$	0	560	1440

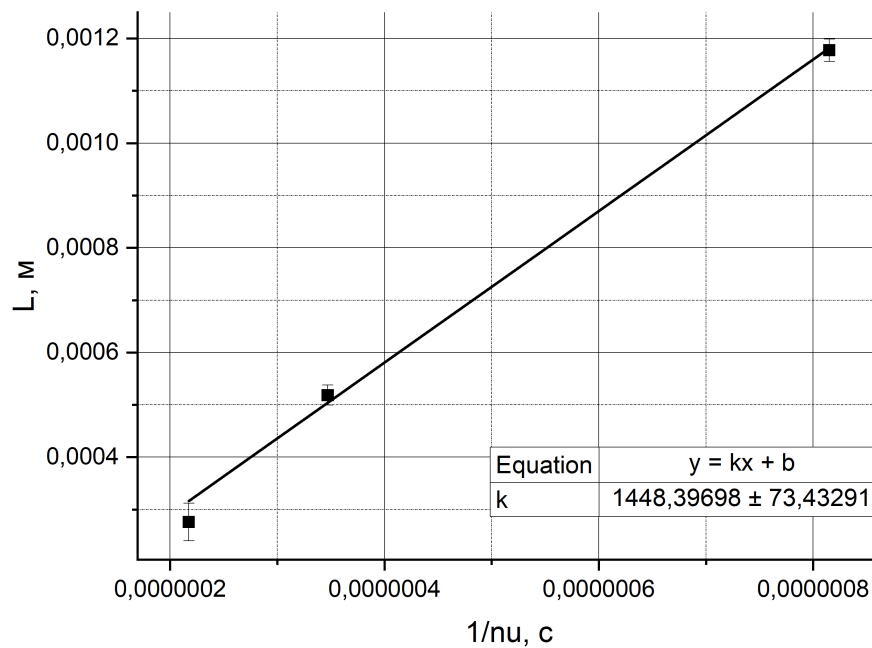
3. По данным таблиц построим график зависимости координаты x_m от порядка m .



4. Рассчитаем длину Λ УЗ-волны по приведенной выше формуле.

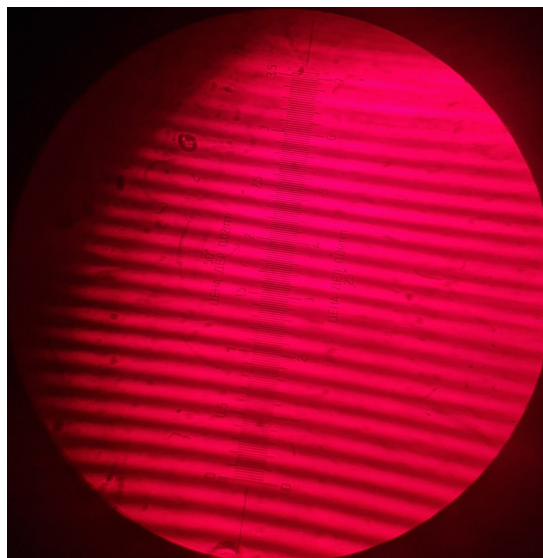
$\nu, \text{МГц}$	1,227	2,881	4,6
k	168,9	383,6	720,0
σ_k	1,2	12,7	92,4
$\Lambda, \text{м}$	0,00118	0,00052	0,000276
$\sigma_\Lambda, \text{м}$	2,1E-05	1,9E-05	3,57E-05

5. Построим график зависимости $\Lambda(1/\nu)$ и определим скорость ультразвука в воде.



Полученное значение скорости: $v = 1448 \pm 73$ м/с.

4.2 Определение скорости ультразвука методом темного поля

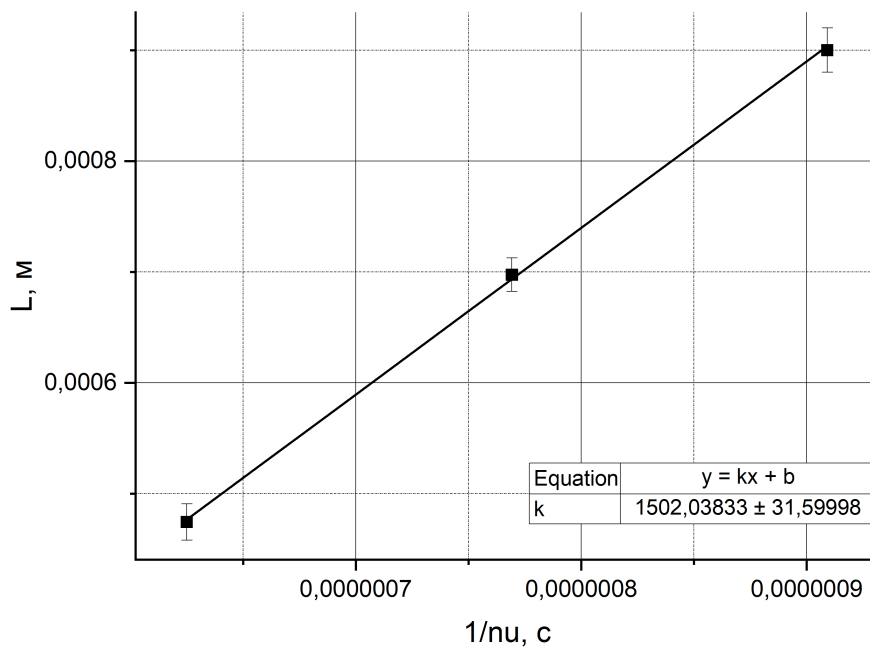


1. Введем в поле зрения микроскопа вертикальную нить. Проведем настройку и добьемся полного затемнения поля зрения.
2. Включим генератор и найдем изображение акустической решетки. (К сожалению, сделать это на своей установке нам не удалось, поэтому далее будем использовать данные с чужой установки).
3. С помощью окулярной шкалы измерим расстояние между самыми дальними из хорошо видимых темных полос и просчитаем число промежутков между ними.

Определим длину УЗ-волны в воде.

4. Определим скорость ультразвука по графику $\Lambda(1/\nu)$.

ν , МГц	1,1	1,3	1,6
n , дел	90	93	58
m , линий	9	12	11
Λ , мкм	900,0	697,5	474,5
σ_Λ , мкм	20,0	15,0	16,4



Полученное значение скорости: $v = 1502 \pm 32$ м/с.

5 Вывод

В ходе работы была изучена дифракция света на синусоидальной акустической решетке. Получено значение скорости ультразвука в воде двумя способами: по дифракционной картине (1448 ± 73 м/с) и методом темного поля (1502 ± 32 м/с). В обоих случаях значения в пределах погрешности совпадают с табличным: $v_{\text{табл}} = 1490$ м/с.