

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Отчёт по лабораторной работы 4.3.2

Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости

Выполнил студент:

Сериков Василий Романович

группа: Б03-102

Москва, 2023 г.

Аннотация

Цель работы:

Изучение дифракции света на синусоидальной акустической решётке и наблюдение фазовой решётки методом тёмного поля.

Приборы:

Оптическая скамья, осветитель, два длиннофокусных объектива, кювета с жидкостью, кварцевый излучатель с микрометрическим винтом, генератор ультразвуковой частоты, линза, вертикальная нить на рейтере, микроскоп.

Теория:

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 миниму-

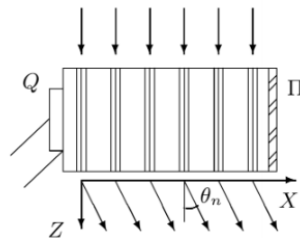


Рис. 1: Дифракция световых волн на акустической решетке

мов, 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 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. Фокусное расстояние объектива $F = 28$ см, одно деление винта микроскопа составляет 50 мкм, полоса пропускания фильтра $\lambda = 6400 \pm 200 \text{ \AA}$, цена деления лимба 10 мкм.

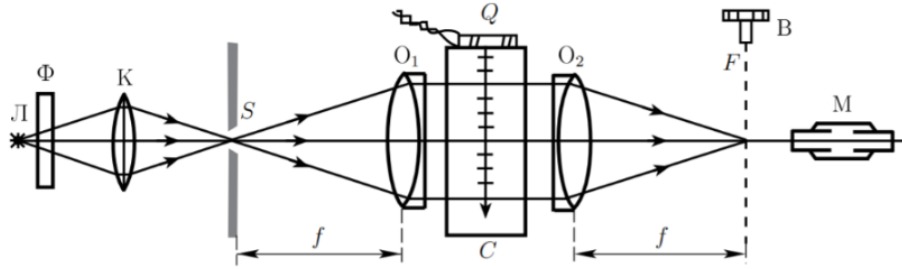


Рис. 2: Схема установки

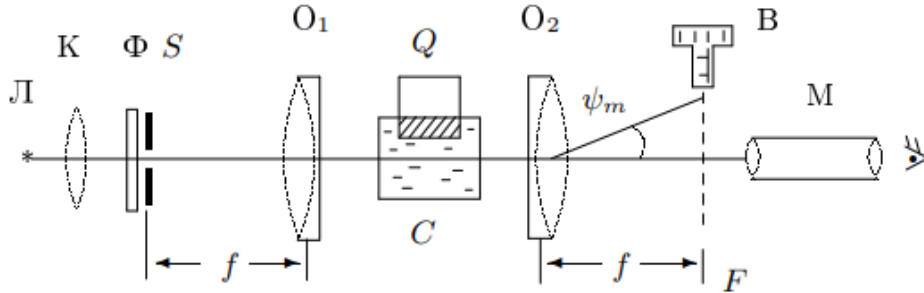


Рис. 3: Схема для наблюдения дифракции на акустической решетке

Ход работы:

1. Перемещая излучатель с помощью лимба, оценим по порядку величины длину λ УЗ-волны как удвоенное расстояние между наиболее чёткими дифракционными картинками, определим положения дифракционных полос и рассчитаем длину УЗ-волны Λ по формуле 3. Полученные значения занесем в таблицы 1 и 2.

№	1	2	3	4	5	6
λ , мкм	1560	1520	1000	1000	840	760
Λ , мкм	1600	1400	1050	896	792	712
ν , кГц	900	1100	1400	1600	1800	2000
m	2	3	2	1	1	1

Таблица 1: Полученные данные из эксперимента с дифракцией на УЗ-волне. $\sigma_\lambda = 10$ мкм, $\varepsilon_\Lambda = 5\%$, $\sigma_\nu = 10$ кГц

m №	1	2	3	4	5	6
3, мкм	-	384	-	-	-	-
2, мкм	228	250	342	-	-	-
1, мкм	111	128	171	200	226	250

Таблица 2: Полученные значения расстояния l от нулевого максимума до m -того. $\sigma_l = 10$ мкм

2. Рассчитаем скорости звука в воде по полученным значениям по формуле $v = \Lambda\nu$.

m №	1	2	3	4	5	6	\bar{v}
v , м/с	1440	1540	1470	1433	1425	1424	1455

Таблица 3: Полученные значения скорости звука в воде. $\varepsilon_v = 5\%$

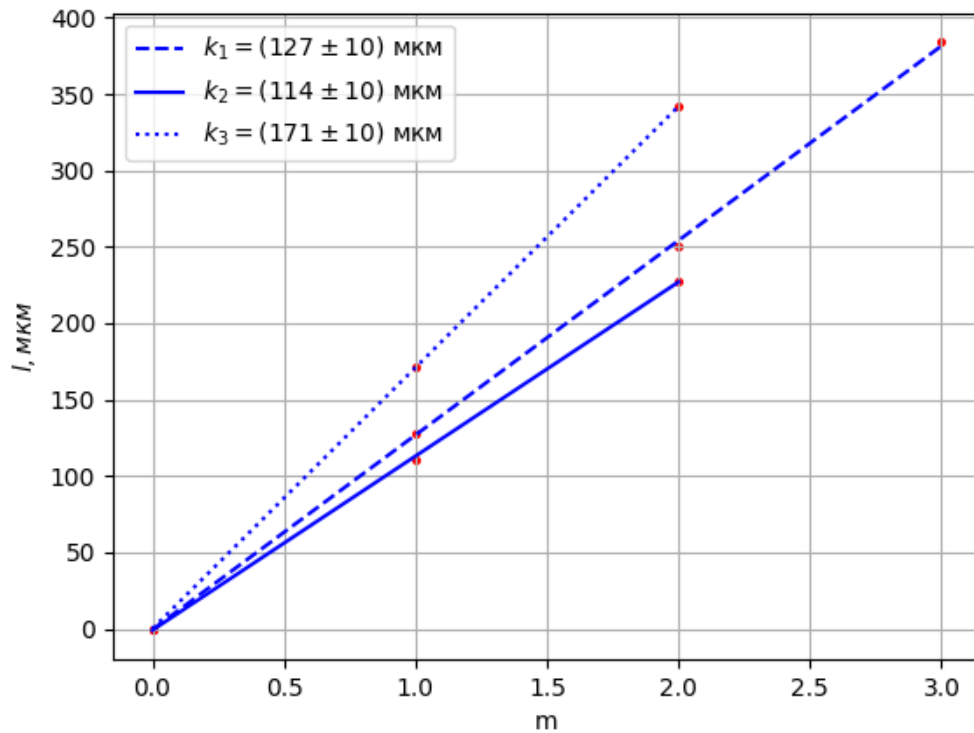


Рис. 4: График зависимости $l(m)$ по полученным значениям расстояния от полосы до нуля

- Определим скорость распространения УЗ-волны в воде методом темного поля. Для этого закроем проволокой центральный максимум и определим период полученной решетки при фиксированных частотах. Зафиксируем с помощью окулярной шкалы микроскопа разность координат N первой и последней из хорошо видимых в поле зрения темных полос и количество m светлых промежутков между ними. По полученным данным рассчитаем длину волны Λ , построим график зависимости $\Lambda = f(1/\nu)$ и по коэффициенту наклона прямой определим скорость звука в воде.

$$\Lambda/2 = \frac{N}{m-1}$$

ν , МГц	N , мм	m	Λ , мкм
1	3,1	10	688 ± 68
1,2	4,4	16	586 ± 39
1,4	4,1	17	512 ± 30
1,6	4,0	19	444 ± 25
1,8	4,4	23	400 ± 20
2	3,6	22	342 ± 16

Таблица 4: Полученные значения для разности координат, числа максимумов и периода решетки. $\sigma_m = 1$, $\sigma_N = 0,1$ мм

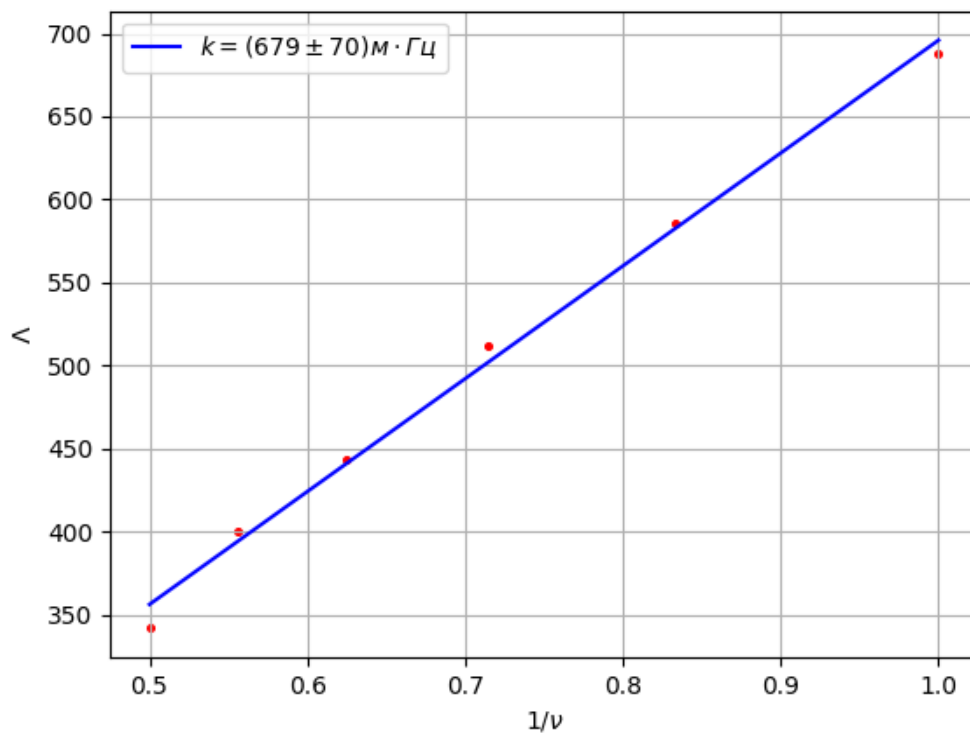


Рис. 5: График зависимости $\lambda(1/\nu)$, $k = \nu$ - скорость звука в воде.

Обсуждение результатов и выводы:

В ходе данной работы мы изучили явление дифракции света на синусоидальной акустической решетке и наблюдали фазовую решетку методом темного поля.

Расчет значения скорости звука в воде с помощью акустической решетки $\nu = 1445 \pm 70$ м/с сходится с теоретическим $\nu = 1490$ м/с.

Расчет значения скорости звука методом темного поля $\nu = 679 \pm 70$ м/с не сходится с теоретическим значением, это может быть связано с неправильным снятием данных расстояния между максимумами дифракционной картины.