

4.3.2

Дифракция света на УЗ волне в жидкости

Семёнов Андрей Б02-010, Лебедев Георгий Б01-008

15 февраля 2022г.

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.

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:

$$\varphi = knL = \varphi_0(1 + m \cos \Omega x) \quad (2)$$

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

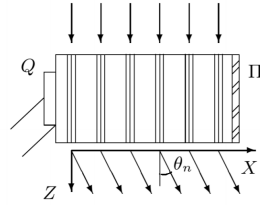


Рис. 1: Дифракция световых волн на акустической решетке

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.

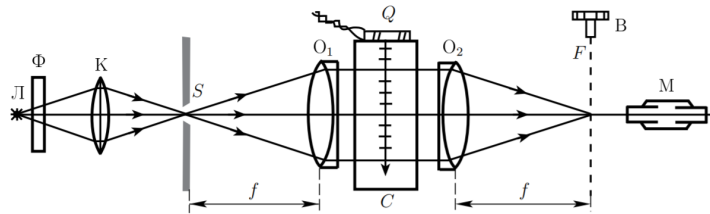


Рис. 2: Схема для наблюдения дифракции на акустической решетке

Параметры установки: фокусное расстояние объектива $F = 30$ см, одно деление винта микроскопа составляет 20 мкм, полоса пропускания красного фильтра $\lambda = 6400 \pm 200 \text{ \AA}$, зеленого $\lambda = 4950 - 5460 \text{ \AA}$.

Ход работы

1. Исследовали изменения дифракционной картины на красном свете. При увеличении частоты УЗ-генератора и приближении к 1,1 МГц проявляется дифракционная решетка: расстояние между максимумами растет.

Измерили положения x_m дифракционных максимумов с помощью микроскопического винта для пяти частот. Для каждой полосы измерили крайние координаты и рассчитали среднее относительно нулевого максимума как координату полосы. Результаты измерений занесли в таблицы ниже. На основе каждой таблицы построили графики зависимости $x_m(m)$.

Для частоты $\nu_2 = 1,1116 \pm 0,0001$ МГц:

m	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
l_m , дел.	2,15	2,40	2,70	3,00	3,35	3,60	3,90	4,20
x_m , дел.	2,225	2,50	2,80	3,10	3,425	3,70	3,975	4,275
x_m , МКМ	-350	-240	-120	0	130	240	350	470

2. Для частоты $\nu_2 = 2,2262 \pm 0,0001$ МГц:

m	-3	-2	-1	0	1	2	3
l_m , дел.	1,95	2,30	2,65	3,00	3,40	3,70	4,05
r_m , дел.	2,15	2,50	2,85	3,20	3,55	3,85	4,20
x_m , дел.	2,05	2,40	2,75	3,10	3,475	3,775	4,125
x_m , МКМ	-420	-280	-140	0	150	240	410

3. Для частоты $\nu_3 = 2,9832 \pm 0,0001$ МГц:

m	-2	-1	0	1	2	3
l_m , дел.	1,35	2,20	3,00	3,85	4,70	5,55
x_m , дел.	1,425	2,30	3,10	3,925	4,80	5,625
x_m , МКМ	-670	-320	0	330	680	1010

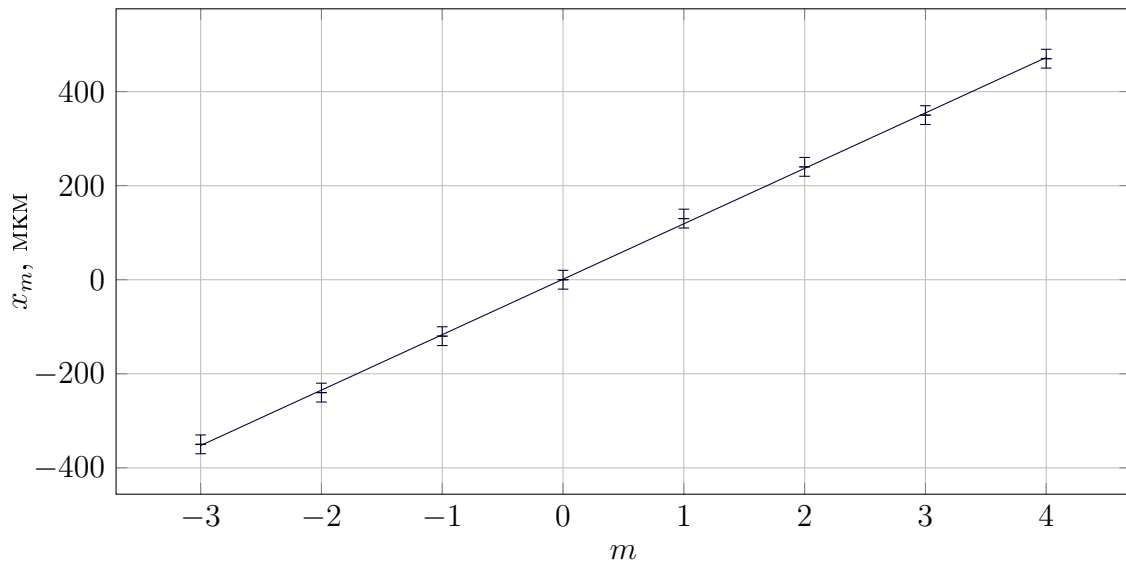


Рис. 3: $x_m(m)$ на частоте ν_1

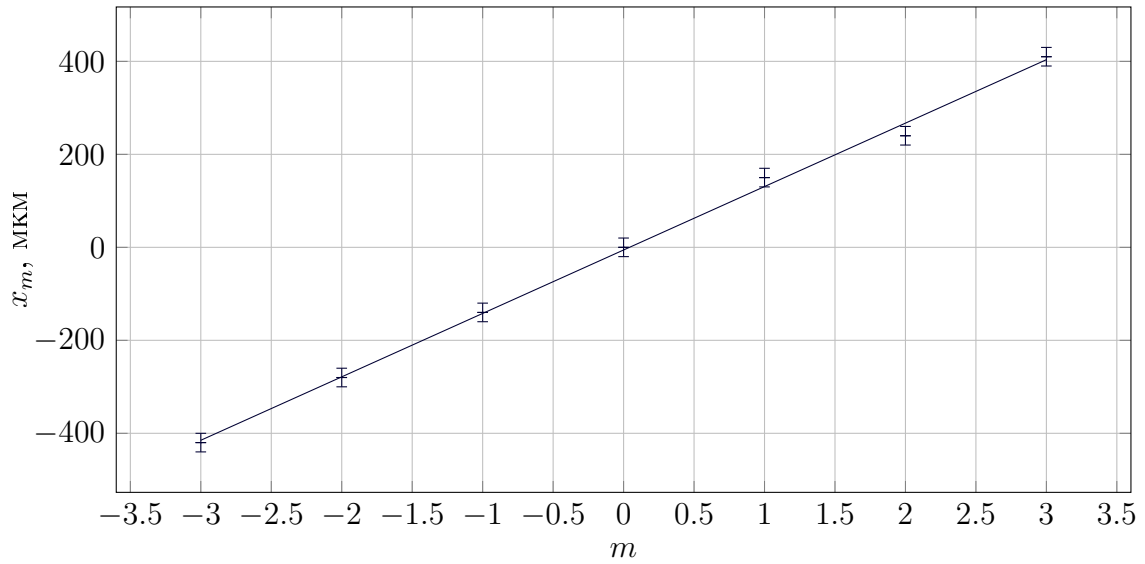


Рис. 4: $x_m(m)$ на частоте ν_2

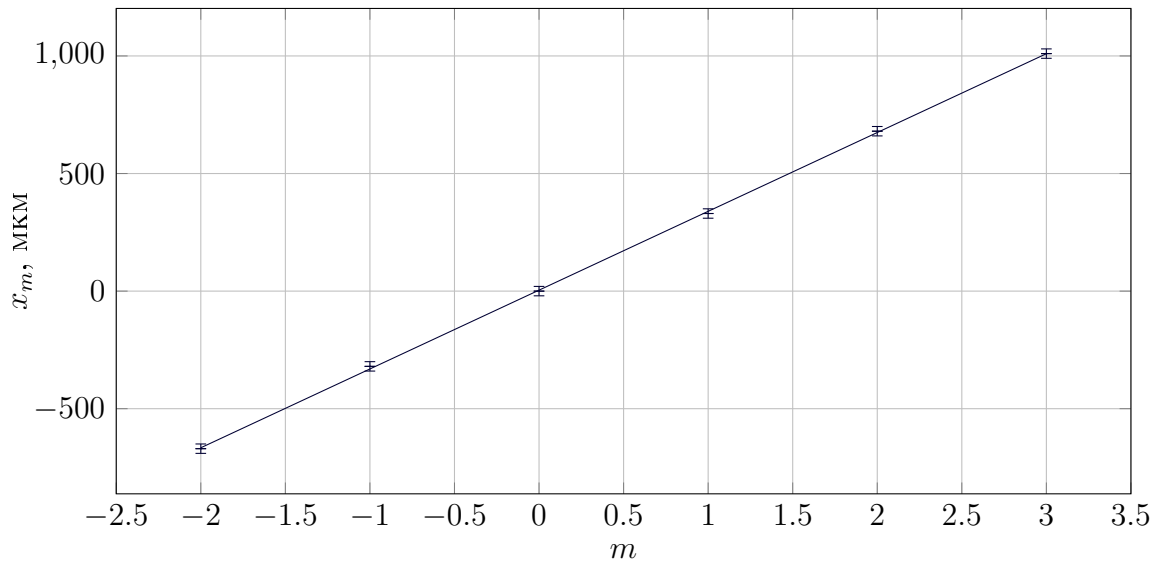


Рис. 5: $x_m(m)$ на частоте ν_3

Обработка результатов

По составленным таблицам и коэффициентам наклона графика определим для каждой частоты l_m/m , чтобы по формуле (4) рассчитаем длины волн Λ для всех частот.

ν , МГц	1,1116	2,2262	2,9832
l_m/m , мкм	117,8	136	335
$\Delta(l_m/m)$, мкм	0,9	3	5
Λ , мкм	1630	1410	573
$\Delta\Lambda$, мкм	50	60	30

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

$$v = 1670 \pm 20 \text{ м/с.}$$

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

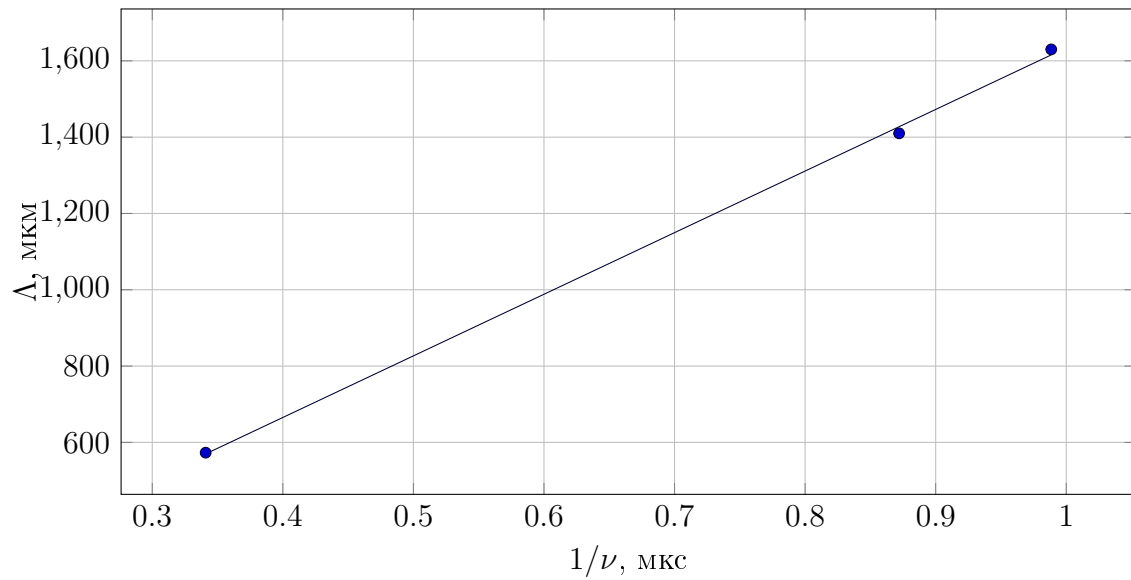


Рис. 6: $\Lambda(1/\nu)$

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. Сравнили значение с табличным, точность экспериментального результата составила около 10%. Метод тёмного поля реализовать не успели.