

Лабораторная работа 4.3.2А Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости

Калинин Даниил, Б01-110

11 мая 2023 г.

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

В работе используются: оптическая скамья, осветитель, светофильтры, конденсор, щель, 2 длиннофокусных объектива, кювета с водой, кварцевый излучатель с микрометрическим винтом, генератор УЗ-частоты, частотомер, линза, отсчётное устройство, микроскоп.

Теоритическая справка:

При прохождении ультразвуковой (УЗ) волны через жидкость в ней возникают периодические оптические неоднородности, обусловленные разницей значений коэффициента преломления в областях сжатия и разрежения. Эти периодические неоднородности играют роль своеобразной дифракционной решётки для проходящего сквозь жидкость света.

При небольших амплитудах звуковой волны показатель преломления жидкости n меняется по закону

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

где Ω - волновое число для УЗ-волны ($\Omega = \frac{2\pi}{\Lambda}$), Λ - длина УЗ-волны, m - глубина модуляции показателя преломления, определяемая интенсивностью ультразвуковой волны ($m \ll 1$) Пусть фаза световых колебаний на передней поверхности жидкости равна нулю. Тогда на задней поверхности (т.е. в плоскости $z = 0$) она равна

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

Можно сформулировать качественный критерий, при выполнении которого можно считать акустическую решётку чисто фазовой, т.е. рассматривать её как тонкий фазовый экран. Для нашей задачи условие тонкого транспаранта можно записать в виде

$$m \ll \frac{\Lambda}{L} \sqrt{\frac{\lambda}{L}}$$

Проведённое рассмотрение дифракции на фазовой решётке справедливо только в случае слабой фазовой модуляции. В общем случае после прохождения через кювету световое поле представляет совокупность не трёх, а большого числа плоских волн, распространяющихся под углами, определяемыми условием

$$\Lambda \sin \Theta_m = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Каждая из этих волн соответствует одному из максимумов в дифракционной картине Фраунгофера.

Определяя на опыте положение дифракционных максимумов различного порядка, можно по формуле (4) найти длину Λ УЗ-волны и вычислить скорость v распространения ультразвуковых волн в жидкости, если известна частота ν колебаний кварцевого излучателя

$$v = \Lambda \nu$$

Экспериментальная установка:

Схема установки представлена на рисунке 1.

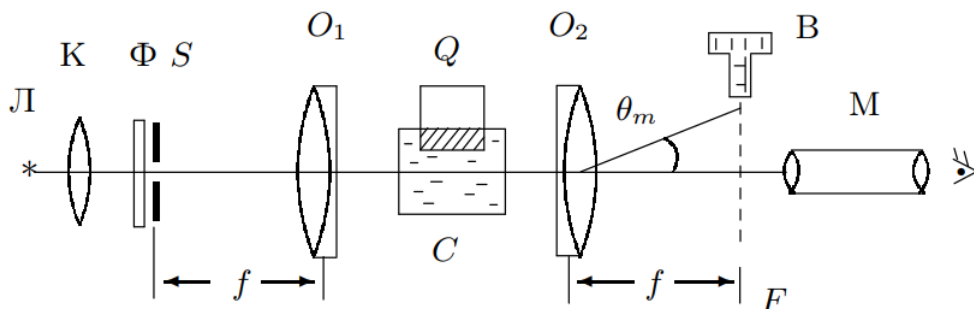


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Ход работы:

1. Собираем схему согласно описанию.
2. Настраиваем микроскоп, далее выставляем ширину щели в 25мкм.
3. Подбирая частоту генератора, получаем дифракционную картину в объективе микроскопа. $\nu = 1.037 \pm 0.001$ МГц
4. Крутя лимб находим расстояние между соседними наиболее чёткими дифракционными картинками. $d = 760 \pm 10$ мкм, т.е. длина УЗ-волны порядка 1.520 ± 0.02 мм
5. Рассчитываем скорость звука в воде $1580 \pm 20 \frac{м}{с}$
6. Измеряем координаты дифракционных максимумов для разных частот. Результаты занесем в таблицы 1, 2, 3 соответственно.

$\nu = 1.037$ МГц							
m	1	2	3	4	5	6	7
x_m , дел	57	88	120	150	181	214	244

Таблица 1. Координаты дифракционных максимумов на частоте $\nu = 1.037$ МГц

$\nu = 1.109$ МГц							
m	1	2	3	4	5	6	7
x_m , дел	60	88	121	153	190	226	258

Таблица 2. Координаты дифракционных максимумов на частоте $\nu = 1.109$ МГц

$\nu = 1.209 \text{ МГц}$					
m	1	2	3	4	5
x, дел	85	118	157	195	233

Таблица 3. Координаты дифракционных максимумов на частоте $\nu = 1.209 \text{ МГц}$

7. На основе каждой таблицы построим графики зависимости $x(m)$, изобразим их на рисунках 2, 3, 4 соответственно.

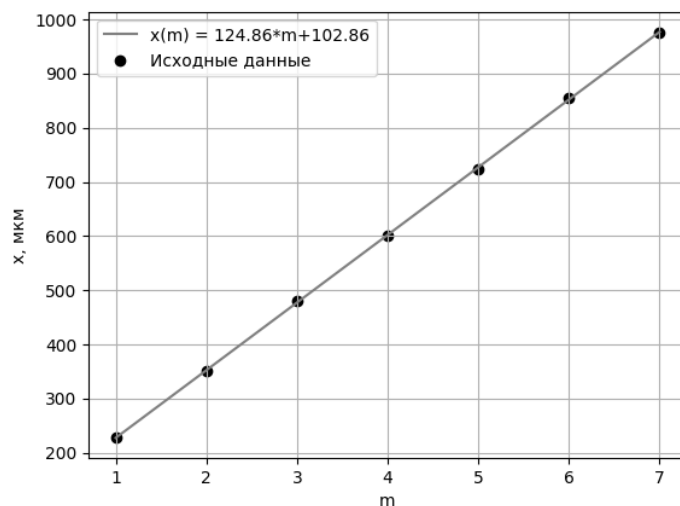


Рис. 2. $x(m)$ при $\nu = 1.037 \text{ МГц}$

Определим длину волны по углу наклона графика:

$$\frac{l_m}{m} = \frac{\Delta x_m}{\Delta m} = 125 \text{ мкм}, \quad \Lambda = \frac{\lambda f}{l_m/m} = 1590 \text{ мкм}, \quad \varepsilon_\Lambda = 5.8\%$$

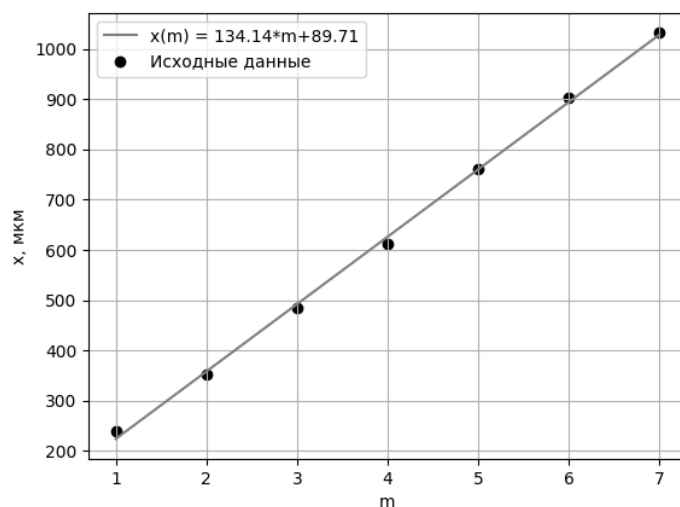


Рис. 3. $x(m)$ при $\nu = 1.109 \text{ МГц}$

Определим длину волны по углу наклона графика:

$$\frac{l_m}{m} = \frac{\Delta x_m}{\Delta m} = 134 \text{ мкм}, \Lambda = \frac{\lambda f}{l_m/m} = 1430 \text{ мкм}, \varepsilon_\Lambda = 5.7\%$$

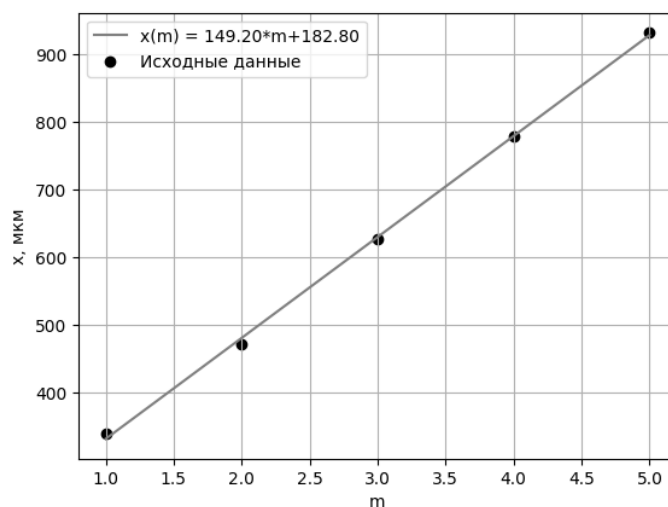


Рис. 4. $x(m)$ при $\nu = 1.209$ МГц

Определим длину волны по углу наклона графика:

$$\frac{l_m}{m} = \frac{\Delta x_m}{\Delta m} = 149 \text{ мкм}, \Lambda = \frac{\lambda f}{l_m/m} = 1290 \text{ мкм}, \varepsilon_\Lambda = 5.5\%$$

8. Отмечаем координаты на шкале микроскопа, совпадающие с соседними линиями сетки (0.20 мм и 1.02 мм)

9. Проведем измерения методом темного поля и рассчитаем скорость звука для каждой частоты. Результат занесем в таблицу 4.

ν , МГц	1-я полоса	последняя полоса	кол-во светлых полос	Λ , мкм	$v, \frac{m}{c}$
1.068	0.4	3.64	6	1317	1407
1.096	0.22	3.42	6	1300	1425
1.127	0.2	3.84	7	1268	1429
1.156	0.06	3.66	7	1254	1450
1.186	0.04	3.48	7	1199	1422
1.216	0	3.38	7	1178	1432

Таблица 4. Результаты измерения скорости звука

Заключение:

В ходе работы было изучено явление дифракции света на стоячей УЗ-волне в воде. Была измерена скорость звука в воде 2-мя способами: по дифракционной картине и методом тёмного поля, оба способа привели к результату, совпадающему с табличным с учётом погрешности, но метод тёмного поля оказался более точным.