

Лабораторная работа 4.3.2

"Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости"

23 марта 2021 г.

Цель работы: изучение дифракции света на синусоидальной акустической решетке и наблюдение фазовой решетки методом темного поля.

Оборудование: оптическая скамья, осветитель, два длиннофокусных объектива, кювета с жидкостью, кварцевый излучатель с микрометрическим винтом, генератор звуковой частоты, линза, вертикальная нить на рейтере, микроскоп.

1 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:

$$\Lambda \sin \theta_m = m\lambda \quad (3)$$

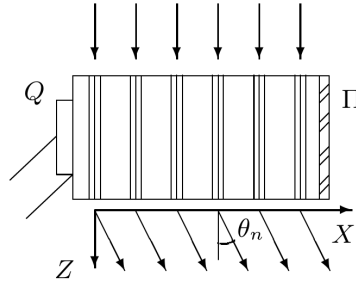


Рис. 1: Дифракция световых волн на акустической решетке

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:

$$\Lambda = m\lambda F/l_m \quad (4)$$

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

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

Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

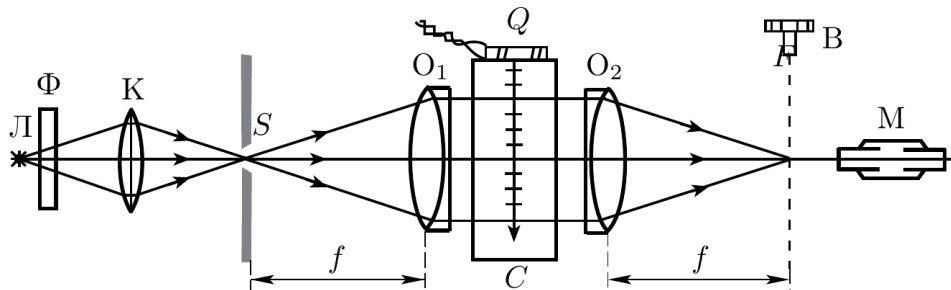


Рис. 2: Схема для наблюдения дифракции на акустической решетке

Измерим координаты полос для разных частот:

ν , МГц	1.3					2			4.3			1				
m	-2	-1	0	1	2	-1	0	1	-1	0	1	-2	-1	0	1	2
x_m , 4мкм	224	180	142	101	62	210	150	85	279	146	13	220	178	145	114	85

Построим графики для разных частот и по углу наклона найдем l_m/m

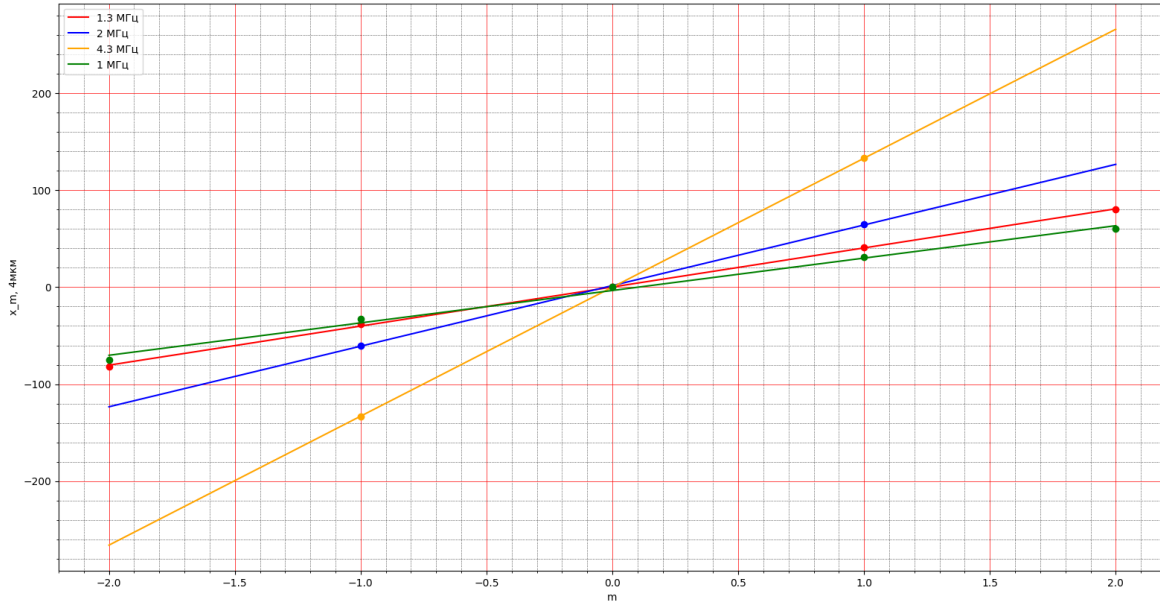


Рис. 3: максимумы для разных частот

В итоге мы знаем параметры установки: $F = 28$ см. Возьмем $\lambda = (6400 \pm 200)$ А и $\sigma_x = 12$ мкм и с помощью формул $l_m = \frac{mf\lambda}{\Lambda}$, $v = \Lambda\nu$ рассчитаем скорость звука

ν МГц	$\frac{x_m}{m}$ мкм	Λ мм	σ_Λ мм	$v \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\sigma_v \frac{\text{м}}{\text{с}}$
1.3	40.3	1.11	0.04	1450	60
2	62.5	0.71	0.03	1430	60
4.3	133	0.34	0.02	1450	60
1	33.4	1.34	0.05	1340	50

Таким образом взяв среднее получим конечный результат:

$$v = (1420 \pm 70) \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Определение скорости ультразвука методом темного поля

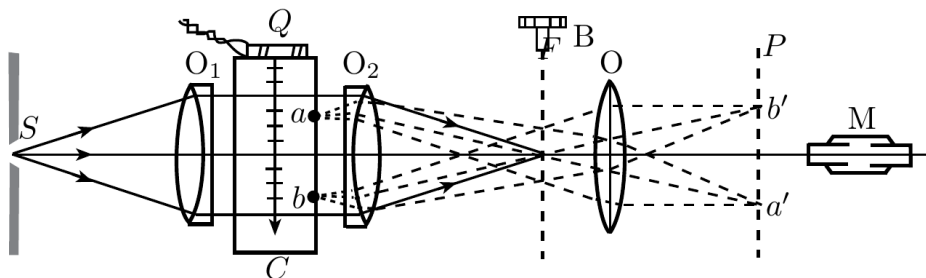


Рис. 4: Схема для наблюдения дифракции методом темного поля

С помощью калибровочной сетки найдем что при измерении длины волны нужно считать для микроскопа 1 ед. изм. = (2.4 ± 0.1) мм померим зависимость длины волны от частоты

ν МГц	y_1 см	y_2 см	n	$\Lambda \cdot 10^{-4}$ м	$\sigma_\Lambda \cdot 10^{-4}$ м
2	0.6	2.5	12	7.9	0.3
1.14	2.9	1.0	7	11.8	0.5
1.04	2.9	1.0	6	12.8	0.5
0.98	1.0	3.1	7	18.0	0.7
1.34	1.1	2.5	6	10.0	0.4

теперь с помощью графика $\Lambda(\frac{1}{\nu})$ найдем v

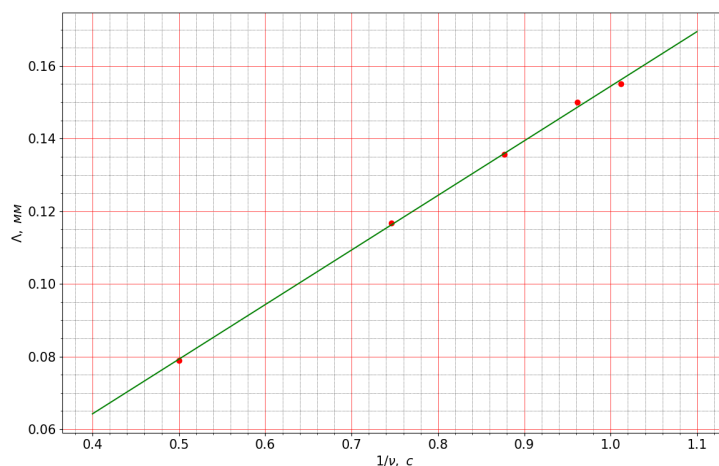


Рис. 5: максимумы для разных частот

Таким образом $v = (1500 \pm 60) \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Вывод

Мы с неплохой точностью померили длину звуковой волны в жидкости, в сборнике физических величин $v_{\text{табл}} = 1482 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, также изучили метод темного поля.