

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.3.2

Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости

Пилюгин Л. С.
Б02-212
7 мая 2024 г.

1 Цель работы

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

2 Оборудование

Оптическая скамья, осветитель, светофильтры, конденсор, цель, два длиннофокусных объектива, кювета с водой, кварцевый излучатель, с микрометрическим винтом, генератор УЗ-частоты, частотометр, линза, отсчетное устройство, микроскоп.

3 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:

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

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:

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

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:

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

Этот эффект проиллюстрирован на рисунке 1.

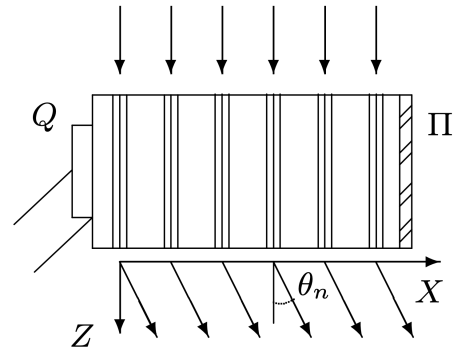


Рис. 1: Дифракция света на решетке

4 Экспериментальная установка

Экспериментальная установка изображена на рисунке 2. Источник света L через светофилтр Φ и конденсор K освещает щель S , которая расположена в фокусе объектива O_1 . Выходящий из объектива параллельный пучок света проходит через кювету C перпендикулярно направлению распространения УЗ-волн. Эти волны возбуждаются в жидкости пьезокварцевой пластинкой Q , прикрепленной к стенке кюветы. На кварцевую пластинку подаётся синусоидальное напряжение ультразвуковой частоты от генератора. В результате взаимодействия света с ультразвуковой волной в фокальной плоскости второго объектива O_2 образуется дифракционная картина, наблюдаемая при помощи микроскопа M . При этом обязательно применяют монохроматическое излучение (красный светофилтр).

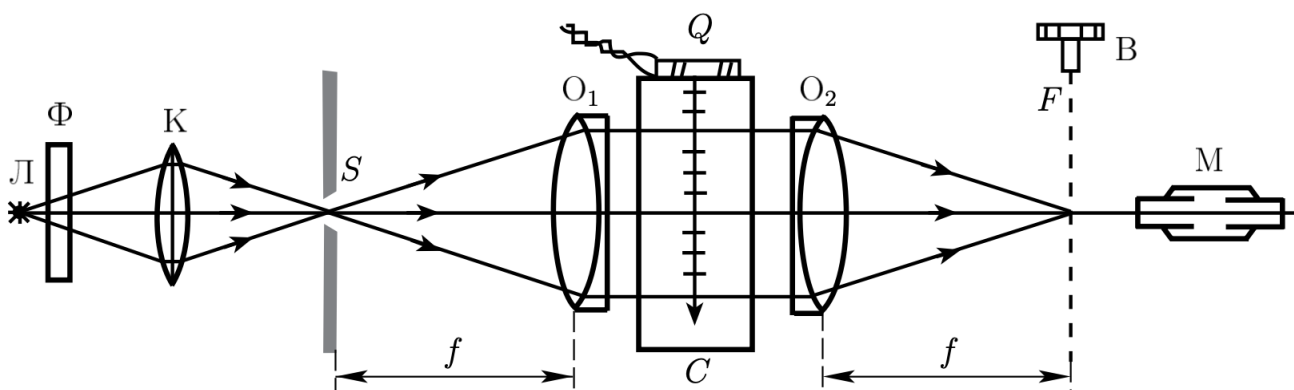


Рис. 2: Схема наблюдения дифракции на акустической решетке

Для наблюдения акустической решетки в работе используется метод темного поля, основанный на устранении центрального дифракционного максимума с помощью специального экрана (проволочки). В поле зрения микроскопа наблюдается чередующиеся светлые и темные полосы, причем расстояние между темными полосами соответствует смещению в плоскости кюветы на $\Lambda/2$. Таким образом, наблюдается характерное для метода темного поля удвоение числа деталей рассматриваемого объекта.

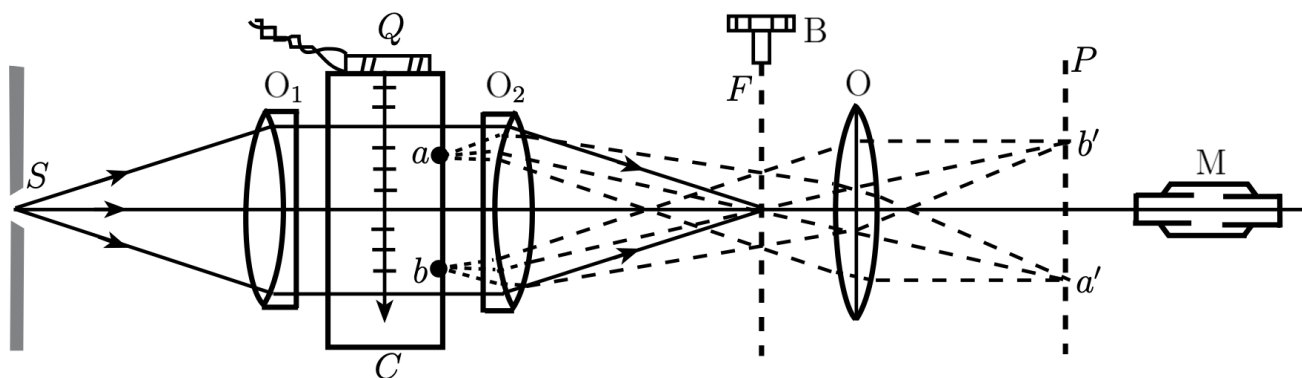


Рис. 3: Наблюдение акустической решетки методом темного поля

5 Ход работы

5.1 Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

Соберем схему согласно рисунку 2 и настроим генератор так, чтобы четко видеть дифракционные максимумы. Измерим их координаты для двух разных частот:

$f = 900 \pm 10 \text{ kHz}$		$f = 2960 \pm 10 \text{ kHz}$	
n	$x_n \pm 0.03 \text{ mm}$	n	$x_n \pm 0.03 \text{ mm}$
-3	0.91	-2	2.35
-2	0.83	-1	1.95
-1	0.71	0	1.60
0	0.59	1	1.21
1	0.48	2	0.80
2	0.35		
3	0.20		

Фокусное расстояние объектива $O_2 - F = 30 \text{ cm}$, полоса пропускания светофильтра $\lambda = 640 \pm 20 \text{ nm}$ Построим соответствующие графики: Тогда по формулам(4) и (5) и учитывая, что $l_m/m =$

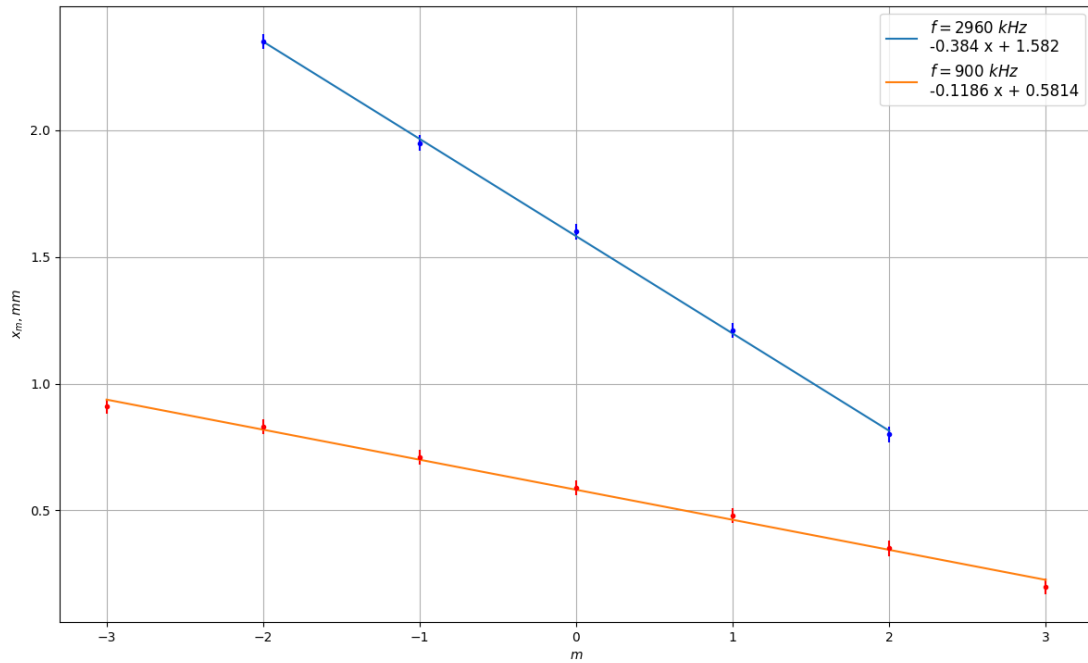


Рис. 4: Зависимость координаты дифракционного максимума от номера

$\Delta x_m / \Delta m$ посчитаем длины ультразвуковых волн.

$$\Lambda_{900 \text{ kHz}}^{(1)} = \frac{F\lambda}{k} = 1.62 \pm 0.05 \text{ mm} \quad \Lambda_{900 \text{ kHz}}^{(2)} = \frac{c}{f} = \frac{1435}{900 \cdot 10^3} = 1.59 \pm 0.02 \text{ mm} \quad (6)$$

$$\Lambda_{2960 \text{ kHz}}^{(1)} = \frac{F\lambda}{k} = 500 \pm 20 \text{ } \mu\text{m} \quad \Lambda_{2960 \text{ kHz}}^{(2)} = \frac{c}{f} = \frac{1435}{2960 \cdot 10^3} = 484 \pm 10 \text{ } \mu\text{m} \quad (7)$$

Значения совпали с точностью до погрешности.

5.2 Определение скорости звука методом темного поля

Соберем схему с рисунка 3. При применении метода темного поля мы сможем увидеть дифракционную решетку. Тогда расстояние между светлыми линиями равно $\Lambda/2$

$f \pm 10, kHz$	$x_1 \pm 0.01, \text{ дел}$	$x_N \pm 0.01, \text{ дел}$	$x_0 \pm 0.03, mm$	$x_N \pm 0.03, mm$	N
960	0.42	7.13	1.17	19.85	25
2810	0.97	2.72	2.70	7.57	20
1070	0.62	5.65	1.73	15.73	21

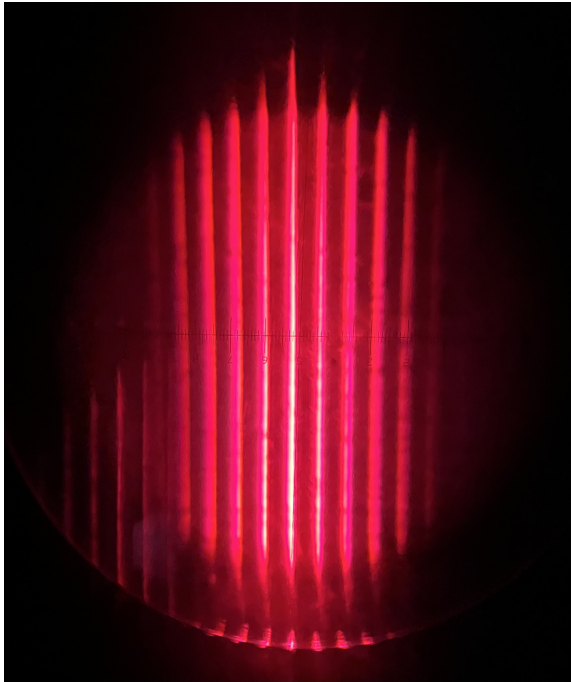
$$\Lambda_{960kHz}^{(1)} = 2 \frac{x_n - x_0}{N - 1} = 1.55 \pm 0.05 mm \quad \Lambda_{960kHz}^{(2)} = \frac{c}{f} = \frac{1435}{960 \cdot 10^3} = 1.49 \pm 0.02 mm \quad (8)$$

$$\Lambda_{2810kHz}^{(1)} = 2 \frac{x_n - x_0}{N - 1} = 0.51 \pm 0.02 mm \quad \Lambda_{2810kHz}^{(2)} = \frac{c}{f} = \frac{1435}{2810 \cdot 10^3} = 0.51 \pm 0.01 mm \quad (9)$$

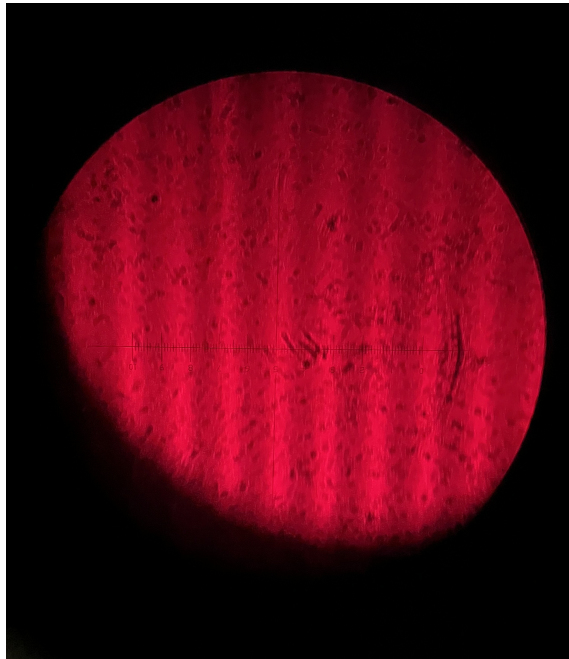
$$\Lambda_{1070kHz}^{(1)} = 2 \frac{x_n - x_0}{N - 1} = 1.40 \pm 0.04 mm \quad \Lambda_{1070kHz}^{(2)} = \frac{c}{f} = \frac{1435}{1070 \cdot 10^3} = 1.34 \pm 0.02 mm \quad (10)$$

Данные совпадают с точностью до погрешности

6 Фотографии дифракции



(а) Дифракция на ультразвуковых волнах



(б) Дифракция методом темного поля

7 Вывод

В работе была измерена скорость ультразвуковых волн по дифракционной картине и методом темного поля. Оба метода дали результаты, которые совпадают с реальностью с точностью до погрешности.