

4.3.2. Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости.

Береснева А. П. (Б04-901)

Март 2021 года

Цель работы:

Изучение дифракции света на синусоидальной 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 рейтете, микроскоп.

Теоретическое введение:

При прохождении ультразвуковой волны через жидкость в ней возникают периодические неоднородности коэффициента преломления, из-за чего создается фазовая решетка, которую мы считаем неподвижной в силу малости скорости звука относительно скорости света.

При небольших амплитудах звуковой волны показатель преломления n изменяется по закону:

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

где $\Omega = \frac{2pi}{\lambda}$ — волновое число для УЗ 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:

$$\phi = knL = \phi_0(1 + m \cos \Omega x)$$

где L — толщина жидкости в кювете, $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число для света.

При прохождении через кювету световое поле представляет собой совокупность плоских волн, распространяющихся под углом Θ , соответствующими максимумами в дифракции Фраунгофера:

$$\Lambda \sin \Theta_m = m\lambda$$

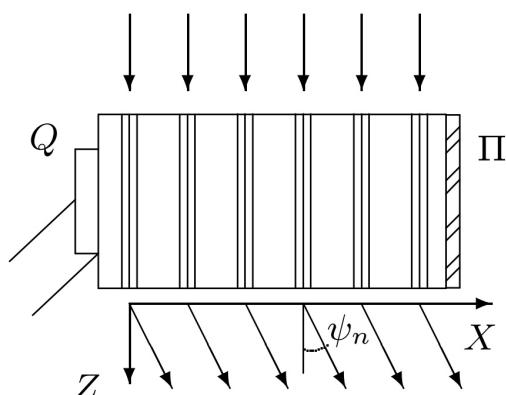


Рис. 1. Дифракция световых волн на акустической решётке

Зная положение дифракционных максимумов, можем определить длину УЗ 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 получаем:

$$\lambda = \frac{m\lambda F}{l_m}$$

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

$$v = \Lambda\nu$$

Экспериментальная установка:

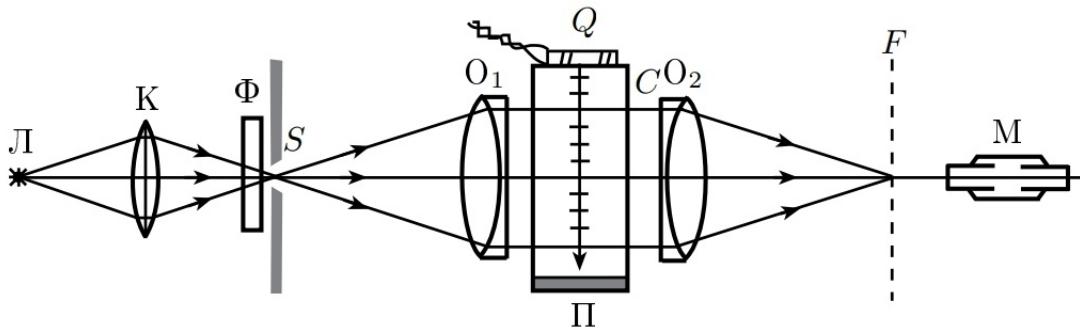


Рис. 1: Схема для наблюдения дифракции на акустической решетке.

Источник света L через светофильтр 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 пластинки Q , прикрепленной к стенке кюветы. На кварцевую пластинку подается синусоидальное напряжение УЗ частоты от генератора. В результате взаимодействия света с УЗ волной в фокальной плоскости второго объектива O_2 образуется дифракционная картина, наблюдаемая при помощи микроскопа M . При этом применяют монохроматическое излучение.

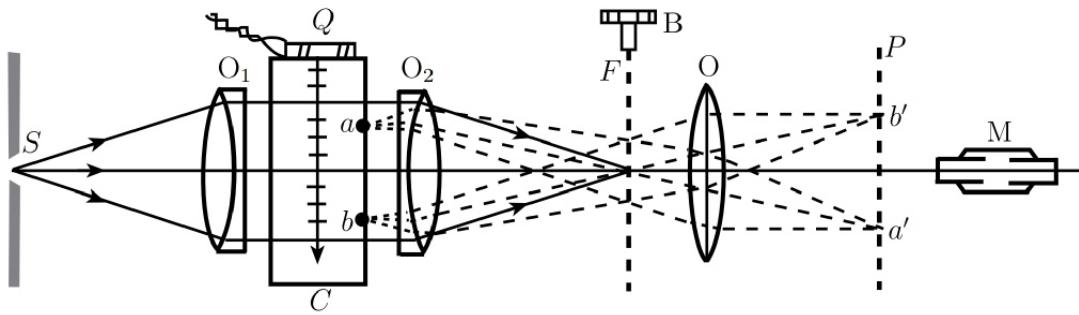


Рис. 2: Схема для наблюдения акустической решетки методом темного поля.

Метод темного поля основан на устраниении центрального дифракционного максимума с помощью экрана (проволочки). В поле зрения микроскопа наблюдаются чередующиеся светлые и темные полосы, причем расстояние между темными соответствует смещению в плоскости кюветы на $\lambda/2$. Таким образом, наблюдается характерное удвоение числа деталей рассматриваемой структуры.

Ход работы:

В работе предлагается измерить координаты дифракционных полос, образующихся при дифракции света на акустической решетке, а также определить период этой решетки методом темного поля. По результатам измерений рассчитываем скорость УЗ в воде. Все измерения проводим на стоячей волне.

Параметры установки: Пропускаемая светофильтром полоса: 640 ± 20 нм; Фокусное расстояние объектива O_2 : 30 см; Одно деление винта: 4 мкм.

Определение скорости УЗ по дифракционной решетке.

Соберем схему согласно Рис.1 и подготовим приборы работе.

Проследим изменения дифракционной картины на зеленом фоне. При увеличении частоты УЗ-генератора и приближении к 1,1 МГц появляется дифракционная решетка, расстояние между максимумами растет.

Для определения скорости ультразвука в воде запишем координаты видимых максимумов и используем их для построения графиков, с помощью которых найдем скорость.

Частота, МГц	Номер максимума	-3	-2	-1	0	1	2	3	Длина УЗ-волны, м
1,13	x_m , дел	-102	-67	-32	0	35	70	105	$(14 \pm 1) \cdot 10^{-4}$
	x_m , мкм	-408	-268	-128	0	140	280	420	
1,25	x_m , дел	-115	-78	-37	0	38	77	116	$(13 \pm 1) \cdot 10^{-4}$
	x_m , мкм	-460	-312	-148	0	152	308	464	
1,33	x_m , дел	-135	-90	-44	0	46	89	133	$(11 \pm 1) \cdot 10^{-4}$
	x_m , дел	-540	-360	-176	0	184	356	532	

Таблица 1: Координаты максимумов.

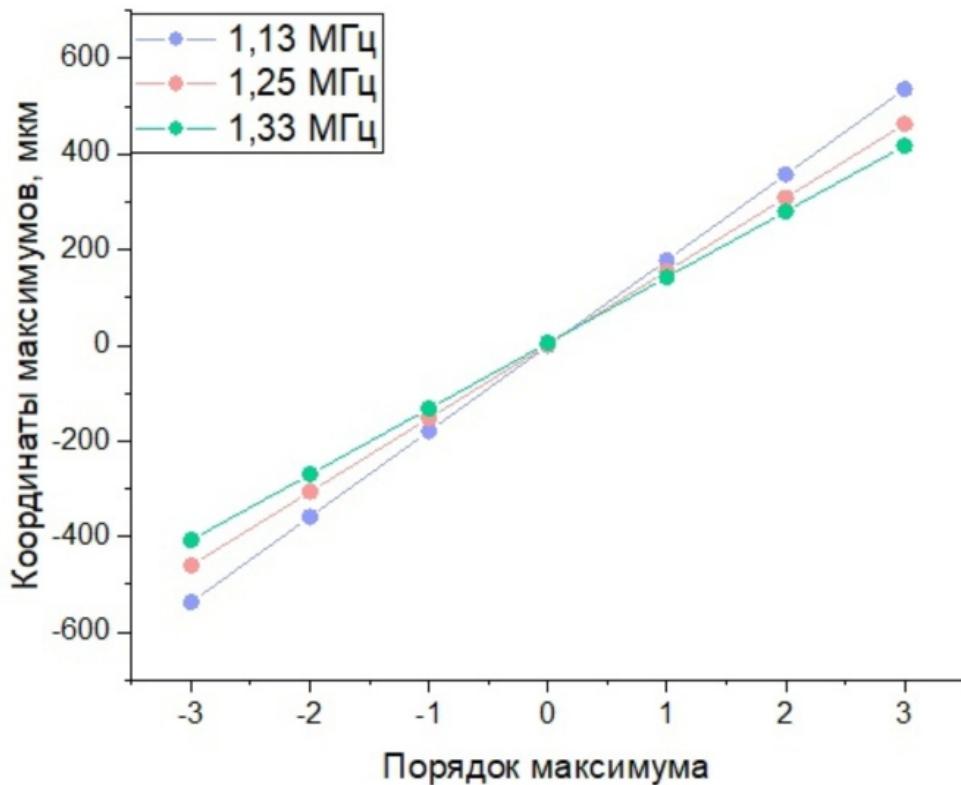


Рис. 3: График зависимости координаты максимума от его порядка.

Для конечного расчета скорости нам понадобится длина УЗ-волны:

$$\Lambda = f \frac{\lambda}{x_m} m$$

Финально получим скорость из того, что:

$$v = \Lambda \nu$$

Итого:

$$v_{1,13} = 1600 \pm 100 \text{ м/с}$$

$$v_{1,25} = 1600 \pm 100 \text{ м/с}$$

$$v_{1,33} = 1500 \pm 100 \text{ м/с}$$

Табличное значение скорости УЗ-волны в воде при комнатной температуре примерно составляет 1500 м/с. Экспериментальные значения хорошо соотносятся со справочной величиной.

Определение скорости УЗ методом темного поля.

Для наблюдения акустической решетки используем метод темного поля, который заключается в устранении центрального дифракционного максимума с помощью непрозрачного экрана.

Для начала проведем калибровку шкалы и получим, что цена одного деления: 0,048мм.

Зафиксируем с помощью окулярной шкалы микроскопа координаты первой и последней из хорошо видимых в поле зрения темных полос и количество светлых промежутков между ними. Результаты занесем в таблицу.

Частота, МГц	Кол-во промежутков	Общее расстояние, дел	Длина волны, мм
1,117	5	35	$11 \cdot 10^{-4}$
1,227	7	25	$11 \cdot 10^{-4}$
1,410	8	45	$9 \cdot 10^{-4}$
1,561	7	53	$7 \cdot 10^{-4}$

Таблица 2: Координаты дифракционных полос в методе темного поля.

$$v_{1,117} = 1200 \pm 100 \text{ м/с}$$

$$v_{1,227} = 1400 \pm 100 \text{ м/с}$$

$$v_{1,410} = 1300 \pm 100 \text{ м/с}$$

$$v_{1,561} = 1100 \pm 100 \text{ м/с}$$

Качественные эксперименты

При смещении нити в любую сторону акустическая решетка постепенно пропадает, причем достаточно быстро. Связано это с тем, что возникает дифракция на самой нити, которая создает свою дифракционную картину, которая гасит ту, что получается от акустической решетки.

Вывод:

В ходе работы была изучена дифракция света на синусоидальной акустической решетке, также наблюдалась фазовая решетка методом темного поля. Двумя способами были найдены длины УЗ волны и их скорости распространения. Полученные значения: По дифракционной решетке (1600 ± 100)м/с, методом темного поля (1300 ± 100)м/с, вполне соответствуют теоретической оценке в 1500м/с.

Приложение:

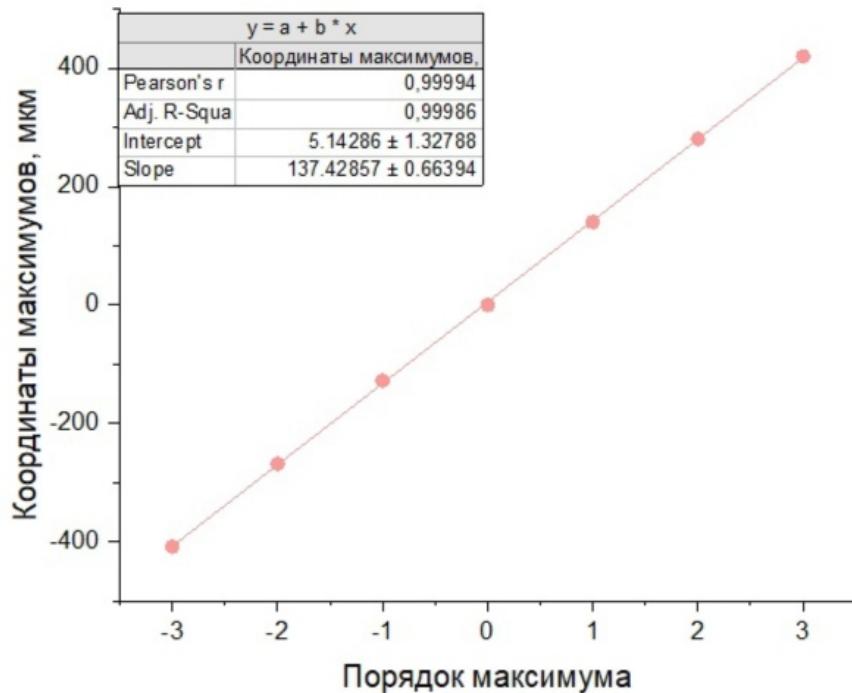


Рис. 4: График зависимости координаты максимума от его порядка $x_m(m)$ при частоте генератора $\nu = 1,13$ МГц.

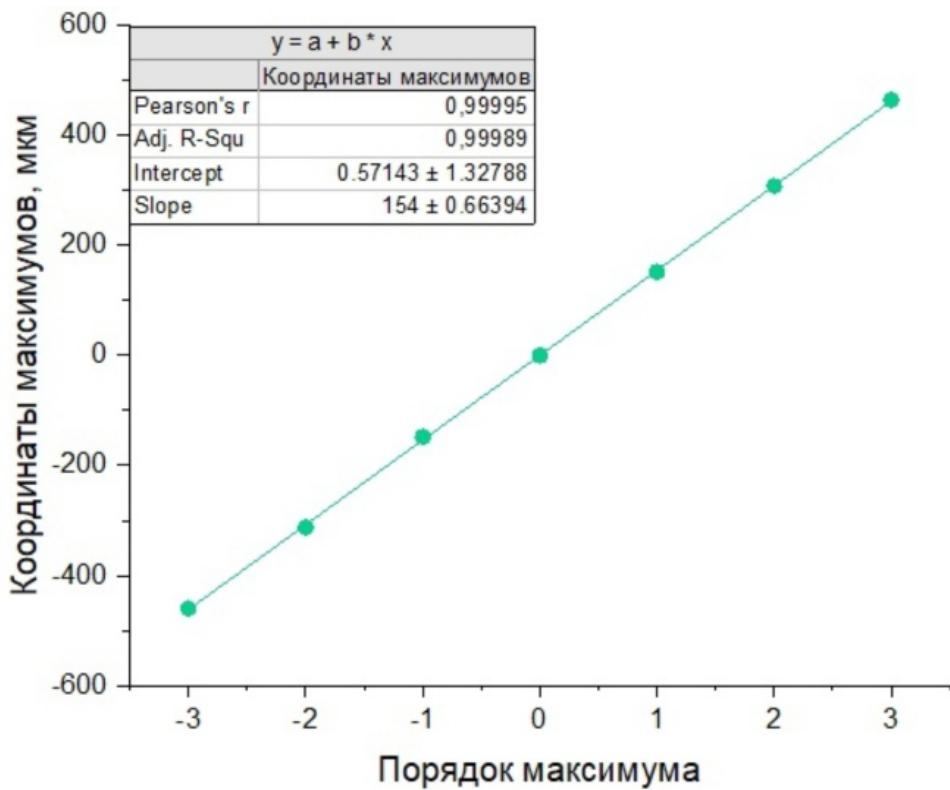


Рис. 5: График зависимости координаты максимума от его порядка $x_m(m)$ при частоте генератора $\nu = 1,25$ МГц.

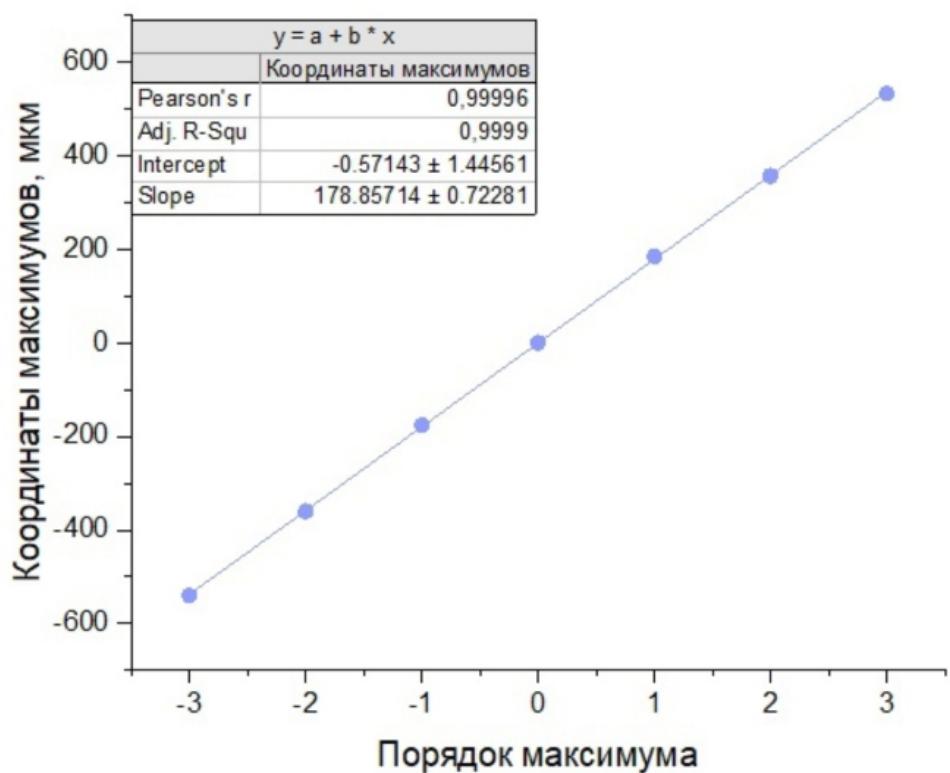


Рис. 6: График зависимости координаты максимума от его порядка $x_m(m)$ при частоте генератора $\nu = 1,33$ МГц.