

### 4.3.2. Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости. (А. Вертикальная щель)

Александр Романов Б01-107

## 1 Введение

### 1.1 Цель работы

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

### 1.2 В работе используются

Оптическая скамья, осветитель, два длиннофокусных объектива, кювет с жидкостью, кварцевый излучатель с микрометрическим винтом, генератор ультразвуковой частоты, линза, вертикальная нить на рейтере, микроскоп.

## 2 Работа

### 2.1 Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

Соберём схему на Рис. 1.

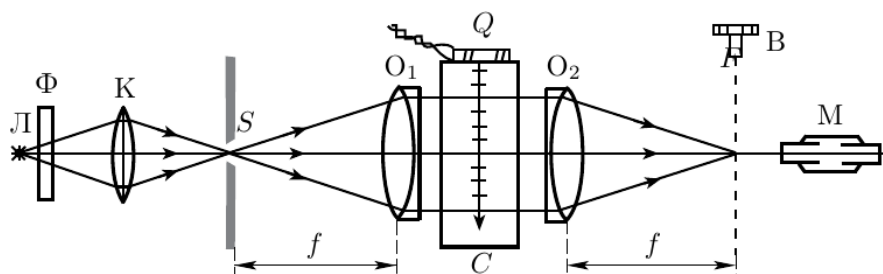


Рис. 1: Схема наблюдения дифракции на акустической решётке

Фокусные расстояния объективов  $O_1$  и  $O_2$  одинаковы ( $f = 30\text{ см}$ ), поэтому ход лучей в системе получился симметричным.

Ярко осветим щель с помощью конденсора. Предварительную настройку будем проводить с зелёным фильтром. Убедимся что световое пятно на щели равномерно освещено. Затем с помощью листа бумаги найдём резкое изображение щели  $S$  в фокальной плоскости объектива  $O_2$  (на самом деле примерно  $35\text{ см}$ ). Настроим микроскоп на отсчётное устройство. Получим в поле зрения микроскопа систему дифракционных полос.

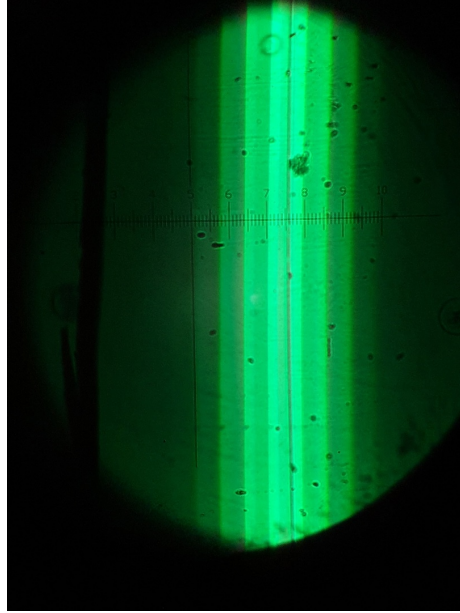


Рис. 2: Зелёные дифракционные полосы

Заменяем широкополосный зелёный фильтр красным. Изменяя ширину щели  $S$ , её наклон и положение конденсора добьёмся оптимальных условий наблюдения дифракционных полос.

При увеличении частоты ультразвука полосы то появляются, то исчезают. При это из количество и расстояния между ними увеличивается. Ширина самих полос остаётся неизменной.

Перемещая излучатель с помощью микрометрического винта, оценим длину УЗ-волны как удвоенное расстояние между наиболее чёткими дифракционными картинками:

$$\lambda = 2 \pm 0.01\text{ mm}$$

Определим скорость звука в воде ( $f = 1.2 \pm 0.05\text{ MHz}$ ):

$$c = \lambda \cdot f = (2400 \pm 700)\text{ m/s}$$

Несмотря на то, что погрешность большая это совпадает с табличным значением  $c = 1500\text{ m/s}$  в пределах погрешности.

Для той же частоты ( $f = 1.2 \pm 0.05 \text{ MHz}$ ) определим положения  $x_m$  семи дифракционных максимумов с помощью микрометрического винта отсчётного устройства (по перекрестию). Фильтр:  $\lambda(6400 \pm 200) \cdot 10^{-10} \text{ m}$

$$f = 1.2 \pm 0.05 \text{ MHz}$$

$m$	0	1	2	3	4	5	6
$x_m, (1 \pm 4) \mu\text{m}$	160	320	464	620	780	940	1080

Рис. 3:  $f = 1.2 \text{ MHz}$

Построим график  $x_m$  от  $m$ :

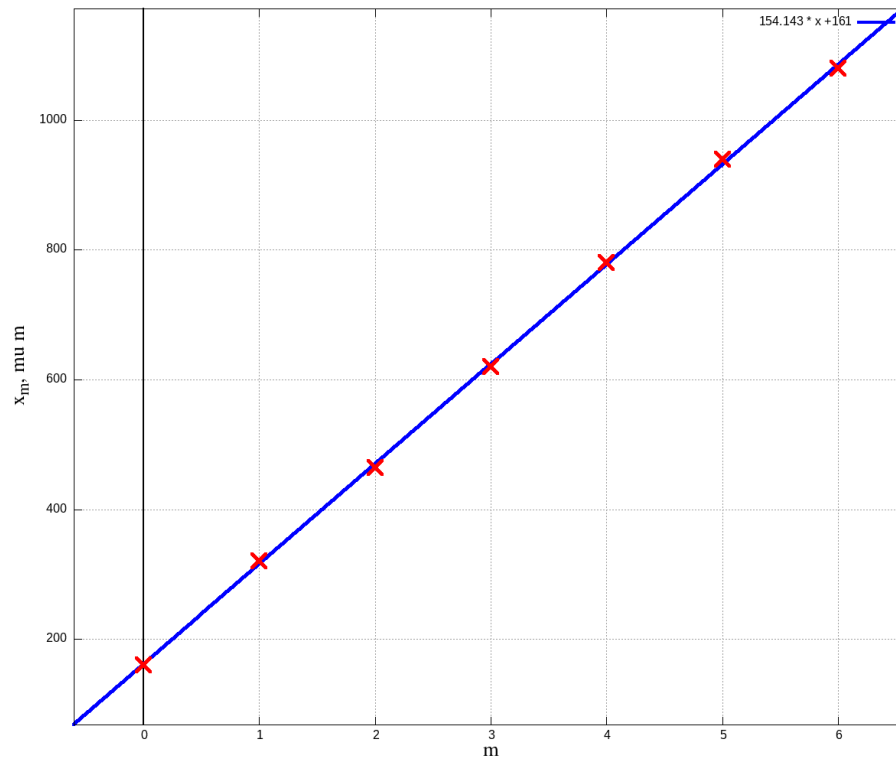


Рис. 4: График  $x_m$  от  $m$  для  $f = 1.2 \text{ MHz}$

Получили зависимость вида  $y = kx + b$ :

$$k = (154 \pm 5) \mu\text{m}$$

$$b = (161 \pm 6) \mu\text{m}$$

Из углового коэффициента получим, что расстояние между соседними полосами равно:

$$\Delta x = (154 \pm 5) \mu m$$

Т.к.

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

то:

$$\Lambda = \frac{f \lambda}{\Delta x} = 1247 \pm 16$$

Повторим для других частот:

$$f = 1.14 \pm 0.005 \text{ MHz}$$

$m$	0	1	2	3	4	5	6
$x_m, (1 \pm 4) \mu m$	186	320	464	616	772	900	1140

Рис. 5:  $f = 1.14 \text{ MHz}$

Построим график  $x_m$  от  $m$ :

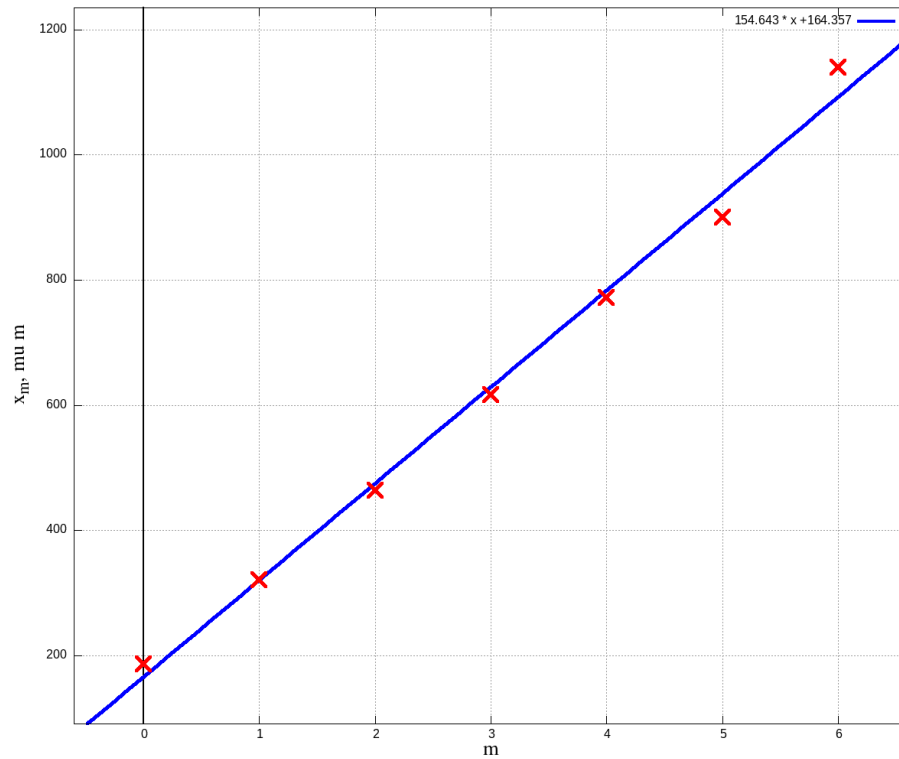


Рис. 6: График  $x_m$  от  $m$  для  $f = 1.14 \text{ MHz}$

Получили зависимость вида  $y = kx + b$ :

$$k = (155 \pm 9) \mu m$$

$$b = (161 \pm 14) \mu m$$

Из углового коэффициента получим, что расстояние между соседними полосами равно:

$$\Delta x = (155 \pm 9) \mu m$$

$$\Lambda = \frac{f\lambda}{\Delta x} = 1238 \pm 15$$

$$f = 1.56 \pm 0.005 \text{ MHz}$$

$m$	0	1	2	3	4	5	6
$x_m, (1 \pm 4)\mu m$	30	220	420	620	832	1012	1220

Рис. 7:  $f = 1.56 \text{ MHz}$

Построим график  $x_m$  от  $m$ :

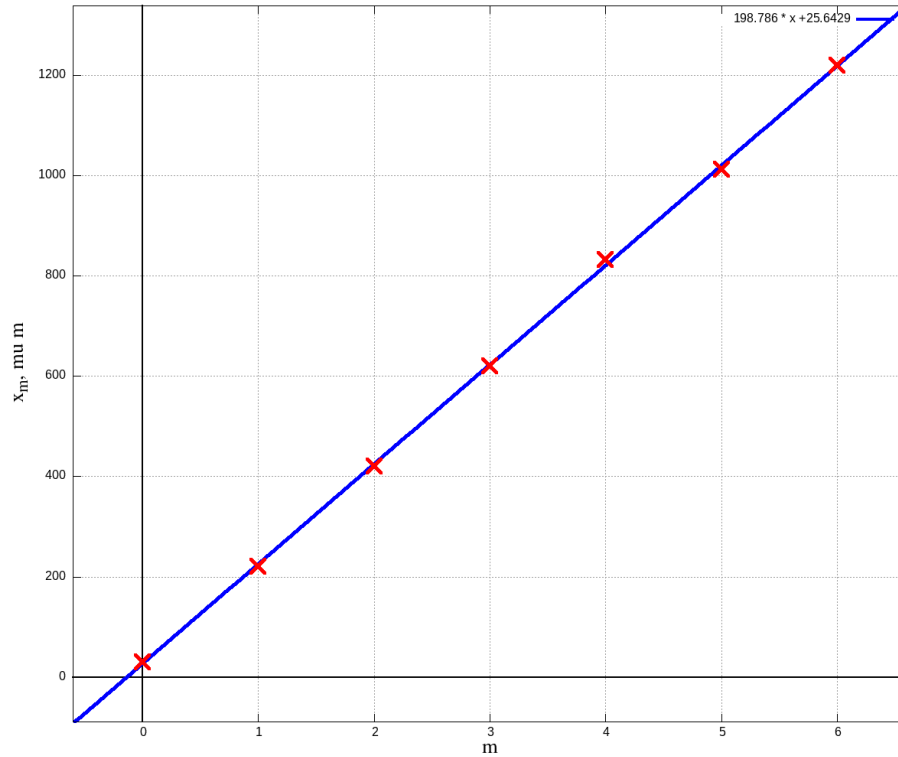


Рис. 8: График  $x_m$  от  $m$  для  $f = 1.56 \text{ MHz}$

Получили зависимость вида  $y = kx + b$ :

$$k = (199 \pm 5) \mu m$$

$$b = (26 \pm 6) \mu m$$

Из углового коэффициента получим, что расстояние между соседними полосами равно:

$$\Delta x = (199 \pm 5) \mu m$$

$$\Lambda = \frac{f\lambda}{\Delta x} = 946 \pm 16$$

$$f = 1.84 \pm 0.005 \text{ MHz}$$

$m$	0	1	2	3	4
$x_m, (1 \pm 4)\mu m$	172	400	640	876	1116

Рис. 9:  $f = 1.84 \text{ MHz}$

Построим график  $x_m$  от  $m$ :

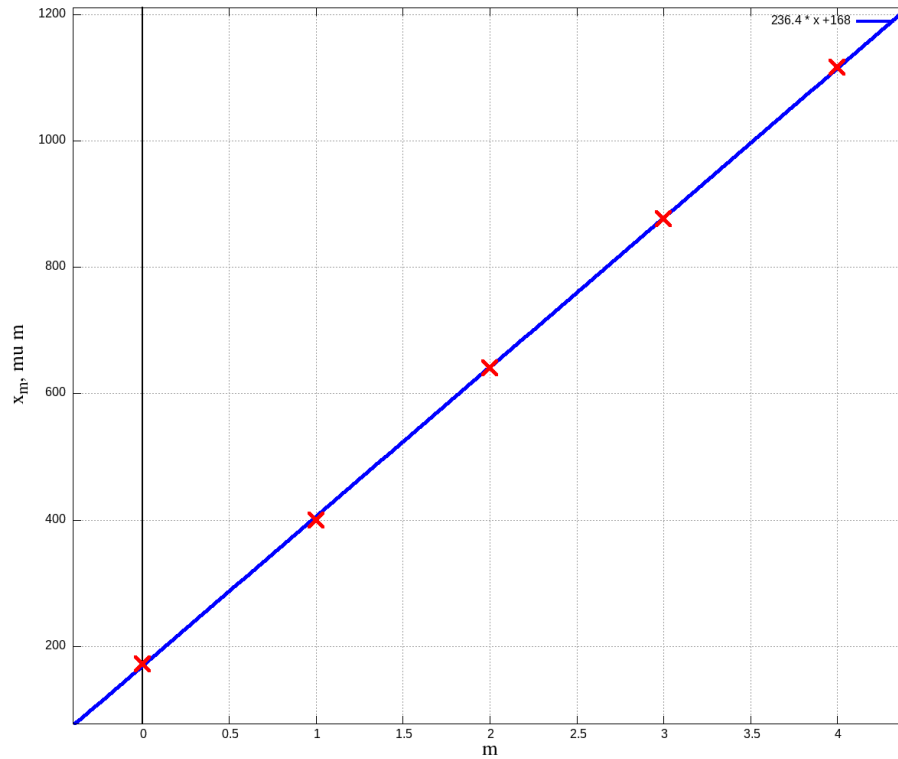


Рис. 10: График  $x_m$  от  $m$  для  $f = 1.84 \text{ MHz}$

Получили зависимость вида  $y = kx + b$ :

$$k = (236 \pm 5) \mu m$$

$$b = (168 \pm 6) \mu m$$

Из углового коэффициента получим, что расстояние между соседними полосами равно:

$$\Delta x = (236 \pm 5) \mu m$$

$$\Lambda = \frac{f\lambda}{\Delta x} = 813 \pm 16$$

## 2.2 Определение скорости ультразвука методом тёмного поля

Для перехода к методу тёмного поля (Рис. 11), не смещая микроскоп, введём микрометрическим винтом в поле зрения микроскопа вертикальную нить.

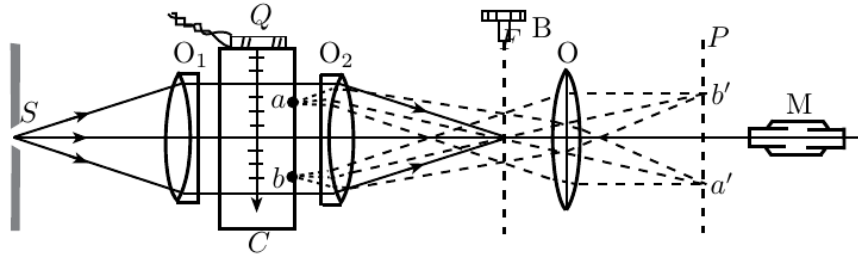


Рис. 11: Наблюдение акустической решётки методом тёмного поля

Резкое изображение нити должно совпадать с резким изображением щели. Запишем соответствующее показание микрометрического винта: 10. Отодвинем микроскоп и поставьте дополнительную линзу сразу за отсчётным устройством. Опустим в воду пластинку с миллиметровыми делениями и прижмём её к задней стенке кюветы. Откроем пошире входную щель. С помощью листа бумаги найдём плоскость, в которой располагается резкое изображение линейки, созданное двумя линзами. Передвигая микроскоп в эту точку сфокусируем его на изображении линейки.

Определите цену деления окулярной шкалы в условиях опыта. Для этого совместим самые дальние из хорошо видимых в поле зрения миллиметровых делений пластинки с делениями окулярной шкалы и запишем кол-во тех и других делений. Получим 10 делений микроскопа и 6 делений линейки. Итого цена деления микроскопа:  $0.6 \text{ mm}$

Уберите пластинку из кюветы и уменьшим ширину входной щели. Включим генератор и попытаемся увидеть звуковую решётку. Сразу ничего не видно.

Закроем центральный дифракционный максимум вертикальной нитью. Теперь видно картину:

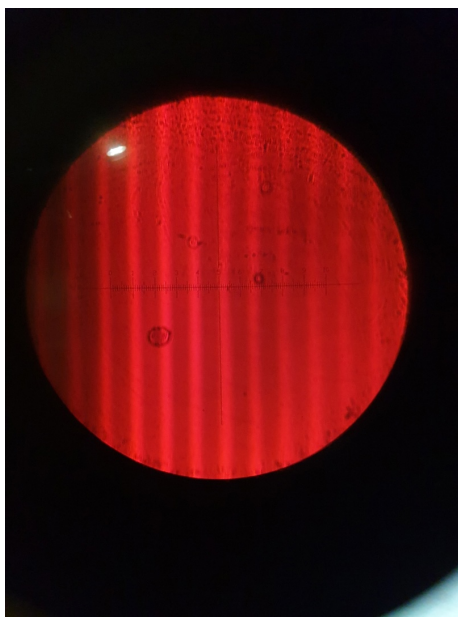


Рис. 12: Звуковая картина

Определим длину УЗ-волны в воде. Для этого с помощью окулярной шкалы измерим расстояние между самыми дальними из хорошо видимых в поле зрения светлых полос и просчитаем число промежутков между ними. Проведём измерения для 3 разных частот.

$f, \text{ MHz}$	1.16	1.53	1.85
$\lambda, \mu\text{m}$	666	545	400

Рис. 13:  $f = 1.84 \text{ MHz}$

Перемещая проволоку, закроем последовательно минимумы первого, второго и т.д. порядков. При этом минимумы чередуются с максимумами, ширина полос увеличивается.

### 3 Выводы

В ходе выполнения работы:

1. Была изучена дифракция света на синусоидальной акустической решётке.



2. Была экспериментально оценена скорость звука в воде. Полученное значение близко к табличному:

$$c_{mes} = (2400 \pm 700) \text{ m/s vs } c_{th} = 1500 \text{ m/s}$$

3. Были рассчитаны значения длины УЗ-волны, для разных частот ультразвука.
4. Была получена картина звуковой решётке методом тёмного поля.