

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа аэрокосмических технологий

Лабораторная работа №4.3.2

Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости  
на установке с вертикальной щелью

Работу выполнил  
Лохматов Арсений Игоревич  
Бегинин Тимофей Игоревич  
Б03-303



Долгопрудный, 2025

# 1 Теоретическая часть

**Цель работы:** ознакомиться с методами получения и анализа поляризованного света.

**Оборудование:** оптическая скамья, осветитель, светофильтры, конденсатор, щель, два длиннофокусных объектива, кювета с водой, кварцевый излучатель с микрометрическим винтом, генератор ультразвуковой частоты, частотометр, линза, отсчётное устройство, микроскоп.

**Экспериментальная установка** для наблюдения дифракции света на УЗ-волнах изображена на рисунке 1.

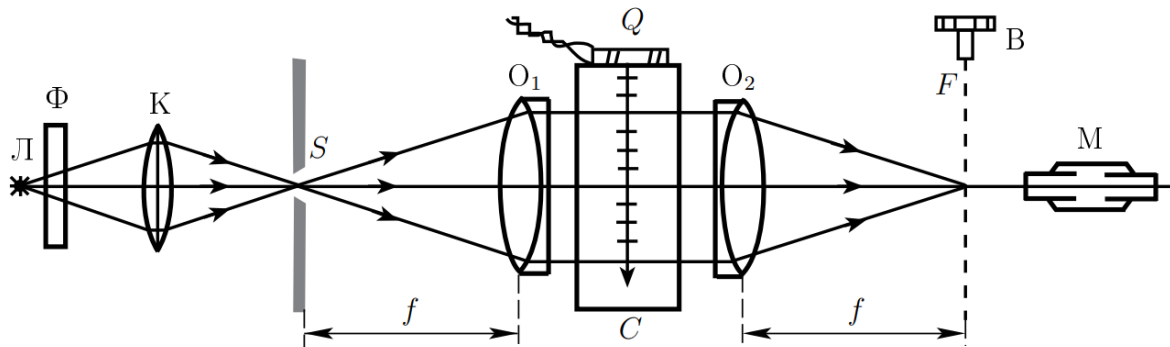


Рис. 1: Схема наблюдения дифракции на акустической решётке

Источник света Л через светофильтр Ф и конденсор К освещает щель S, которая расположена в фокусе объектива O<sub>1</sub>. Выходящий из объектива параллельный пучок света проходит через кювету C перпендикулярно направлению распространения УЗ-волн. Эти волны возбуждаются в жидкости пьезокварцевой пластинкой Q, прикреплённой к стенке кюветы. На кварцевую пластинку подаётся синусоидальное напряжения ультразвуковой частоты от генератора. В результате взаимодействия света с ультразвуковой волной в фокальной плоскости второго объектива O<sub>2</sub> образуется дифракционная картина, наблюдаемая при помощи микроскопа М. При этом обязательно применяют монохроматическое излучение (красный светофильтр).

Дифракционные полосы ориентированы вертикально. Расстояние между ними можно измерить с помощью специального отсчётного устройства с микрометрическим винтом В. Этот винт передвигает размещённые на стекле отсчётного устройства (рисунк 2) тонкую реперную линию Рл, перекрестие П и толстую проволоку Пр, которая используется в методе тёмного поля. Все измерительные линии должны быть расположены в плоскости F резкого изображения щели.

Чёткость дифракционных полос зависит от ряда факторов, например, от ширины щели S, от её наклона по отношению к вертикали, от угла наклона кюветы к падающему лучу.

Длина  $\Lambda$  ультразвуковой волны определяется формулой

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

в силу малости углов  $\Theta_m$  окончательное выражение может быть представлено в виде

$$l_m = mf \frac{\lambda}{\Lambda},$$

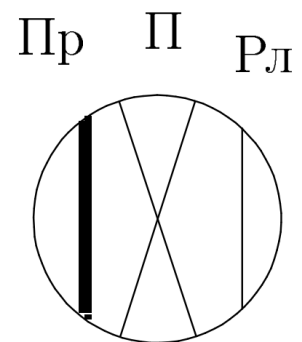


Рис. 2: Проволока Пр, перекрестие П и реперная линия Рл на стекле отсчётного устройства

где  $l_m$  – измеренное на опыте линейное расстояние между  $m$ -м и нулевым максимумами, а  $f$  – фокусное расстояние объектива  $O_2$ .

Скорость  $v$  распространения звука в воде можно рассчитать, если известна частота  $\nu$  кварцевого излучателя:

$$v = \Lambda \nu.$$

**Наблюдение оптических неоднородностей, создаваемых ультразвуковыми волнами в жидкости методом тёмного поля.** Попробуем теперь получить видимое изображение фазовой акустической решётки. Для этого прежде всего необходимо получить в поле зрения микроскопа изображение задней плоскости (считая по ходу световых лучей) кюветы. Это достигается с помощью вспомогательной положительной линзы  $O$ , которую располагают на оптической скамье за фокальной плоскостью объектива  $O_2$  (рисунок 3).

Перемещая микроскоп вдоль оптической скамьи, фокусируют его на плоскость  $P$ , где расположено чёткое изображение  $a'b'$  какого-либо предмета  $ab$ , вплотную прижатого к стенке кюветы. Можно ли теперь увидеть в микроскоп акустическую решётку – УЗ-волну? Ясно, что чисто фазовая решётка является невидимой, если, конечно, выполнено условие:

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

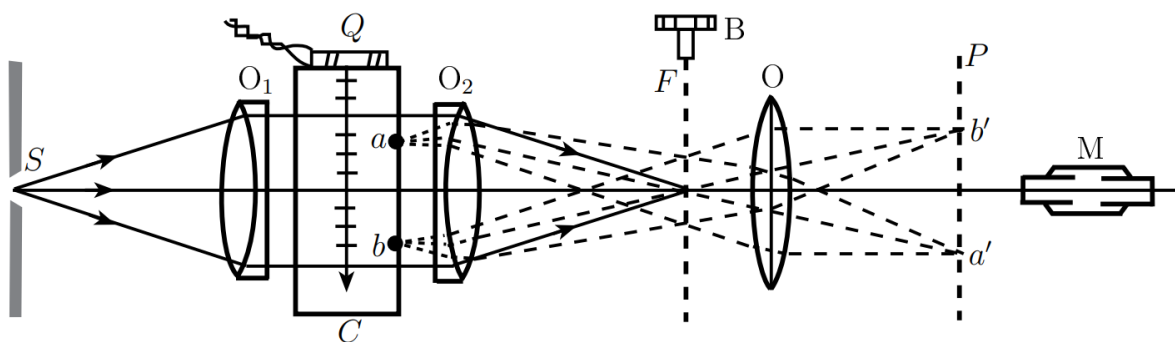


Рис. 3: Наблюдение акустической решётки методом тёмного поля

Для наблюдения акустической решётки в работе используется метод тёмного поля, основанный на устранении центрального дифракционного максимума с помощью специального экрана (проволочки). В поле зрения микроскопа наблюдаются чередующиеся светлые и тёмные полосы, причём расстояние между тёмными полосами соответствует смещению в плоскости кюветы на  $\Lambda/2$ . Таким образом, наблюдается характерное для метода тёмного поля удвоения числа деталей рассматриваемой структуры.

## 2 Практическая часть

### 2.1 Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

1. Собрали установку согласно рисунку 1. Для получения параллельного пучка щель  $S$  должна быть установлена на фокусном расстоянии от главной плоскости объектива  $O_1$ . Объективы  $O_1$  и  $O_2$  одинаковы ( $f = 30$  см), поэтому ход лучей в правильно настроенной системе должен быть симметричным.

2. Ярко осветили щель с помощью конденсора. Предварительную настройку вели с зелёным фильтром.
3. Получили в поле зрения микроскопа систему дифракционных полос. Картина видна наиболее чётко, когда в кювете образуется стоячая УЗ-волна.
4. Заменяли зелёный фильтр красным. Изменяя ширину щели  $S$ , её наклон и положение конденсора, добились оптимальных условий наблюдения дифракционных полос.
5. Заметили, что число дифракционных полос уменьшается при уменьшении мощности источника ультразвука.
6. Снова получили чёткую дифракционную картину. Перемещая излучатель с помощью микрометрического винта, оценили на месте длину УЗ-волны как удвоенное расстояние между наиболее чёткими дифракционными картинками.

$$x_1 = (2.18 \pm 0.01) \text{ мм}, x_2 = (2.88 \pm 0.01) \text{ мм} \Rightarrow \Delta x = |x_1 - x_2| = (0.7 \pm 0.01) \text{ мм} \Rightarrow \\ \Rightarrow \Lambda = 2 \cdot \Delta x = (1.4 \pm 0.02) \text{ мм}$$

Определили рабочую частоту по показанию частотомера:  $\nu = 1.1537 \text{ МГц}$ . По результатам измерений оценили скорость звука в воде, используя формулу:

$$v = \Lambda \nu \Rightarrow v = 1.4 \cdot 10^{-6} \cdot 1.1537 \cdot 10^6 = (1.615 \pm 0.023) \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

7. Для выбранной пяти частот в интервале от 1 до 8 МГц определили положения  $x_m$  нескольких дифракционных максимумов с помощью микрометрического винта отсчётного устройства. Положения максимумов мы отцентровали по нулевому. Результаты представлены в таблице 1.

$\nu_1 = 1.154 \text{ МГц}$		$\nu_2 = 1.829 \text{ МГц}$		$\nu_3 = 3.468 \text{ МГц}$		$\nu_4 = 3.958 \text{ МГц}$		$\nu_5 = 6.295 \text{ МГц}$	
$m$	$x_m, \text{ мкм}$	$m$	$x_m, \text{ мкм}$	$m$	$x_m, \text{ мкм}$	$m$	$x_m, \text{ мкм}$	$m$	$x_m, \text{ мкм}$
-3	-472	-2	-480	-1	-436	-2	-1036	-1	-840
-2	-304	-1	-244	0	0	-1	-516	0	0
-1	-156	0	0	1	496	0	0	1	836
0	0	1	224			1	592		
1	160	2	492			2	1048		
2	312								
3	476								

Таблица 1: Результаты измерений для различных частот ультразвуковых волн

8. Записали фокусное расстояние объектива  $O_2$ :  $f = 30 \text{ см}$ ; и полосу пропускания светофильтра:  $(6400 \pm 200) \text{ А}$ .
9. Для каждой частоты построили график зависимости координаты  $x_m$  от порядка  $m$  и по наклону прямой определили расстояние между соседними полосами  $l_m/m = \Delta x_m/\Delta m$ . Рассчитали длину  $\Lambda$  УЗ-волны и скорость ультразвука в воде. Оценили погрешность эксперимента.

$\nu_1 = 1.154$  МГц: график представлен на рисунке 4.

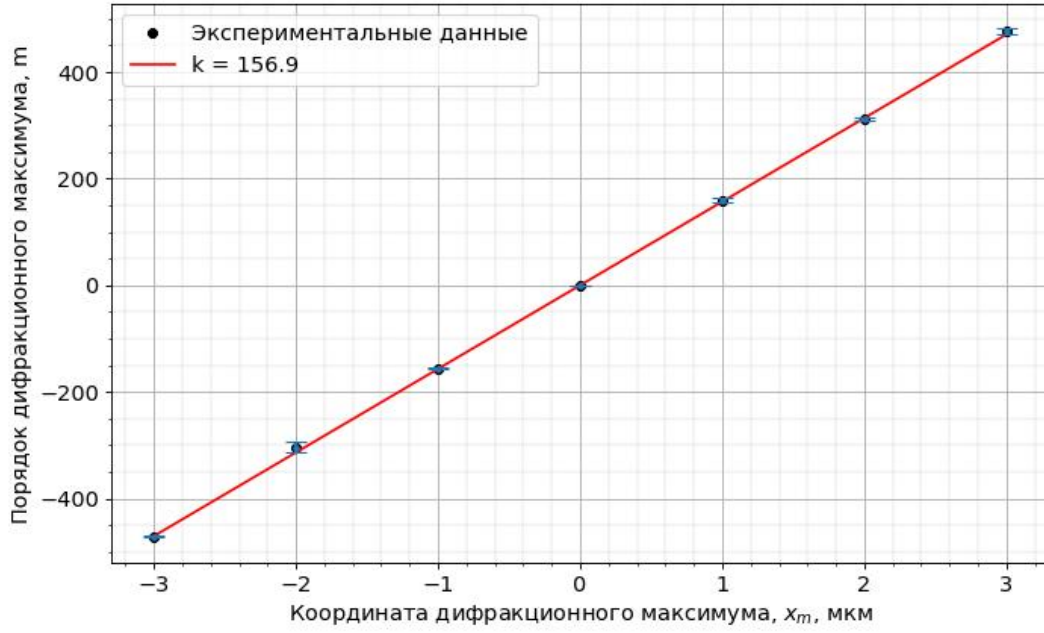


Рис. 4: График зависимости функции  $x_m = F(m)$  для частоты  $\nu_1 = 1.154$  МГц

$$k = \frac{\Delta x_m}{m} = (156.9 \pm 0.9) \frac{1}{\text{мкм}} \Rightarrow \frac{l_m}{m} = (156.9 \pm 0.9) \frac{1}{\text{мкм}}$$

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

$$\Rightarrow \Lambda_1 = 30 \cdot 10^{-2} \cdot 6400 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1}{156.9} \cdot 10^6 = 1223.7 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

$$\sigma_{\Lambda} = \Lambda \sqrt{\left(\frac{\sigma_{l_m/m}}{l_m/m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda}}{\lambda}\right)^2} \Rightarrow \sigma_{\Lambda_1} = 1223.7 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\left(\frac{0.9}{156.9}\right)^2 + \left(\frac{200}{6400}\right)^2} = 38.9 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

$$\boxed{\Lambda_1 = (1223.7 \pm 38.9) \cdot 10^{-6} \text{ м } (\varepsilon = 3.2\%).}$$

$$v = \Lambda \nu \Rightarrow v_1 = 1223.7 \cdot 10^{-6} \cdot 1.154 \cdot 10^6 = 1412.2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\sigma_v = v \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\Lambda}}{\Lambda}\right)^2} \Rightarrow \sigma_{v_1} = 1412.2 \cdot \frac{38.9 \cdot 10^{-6}}{1223.7 \cdot 10^{-6}} = 44.9 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\boxed{v_1 = (1412.2 \pm 44.9) \frac{\text{м}}{\text{с}} (\varepsilon = 3.2\%).}$$

$\nu_2 = 1.829$  МГц: график представлен на рисунке 5.

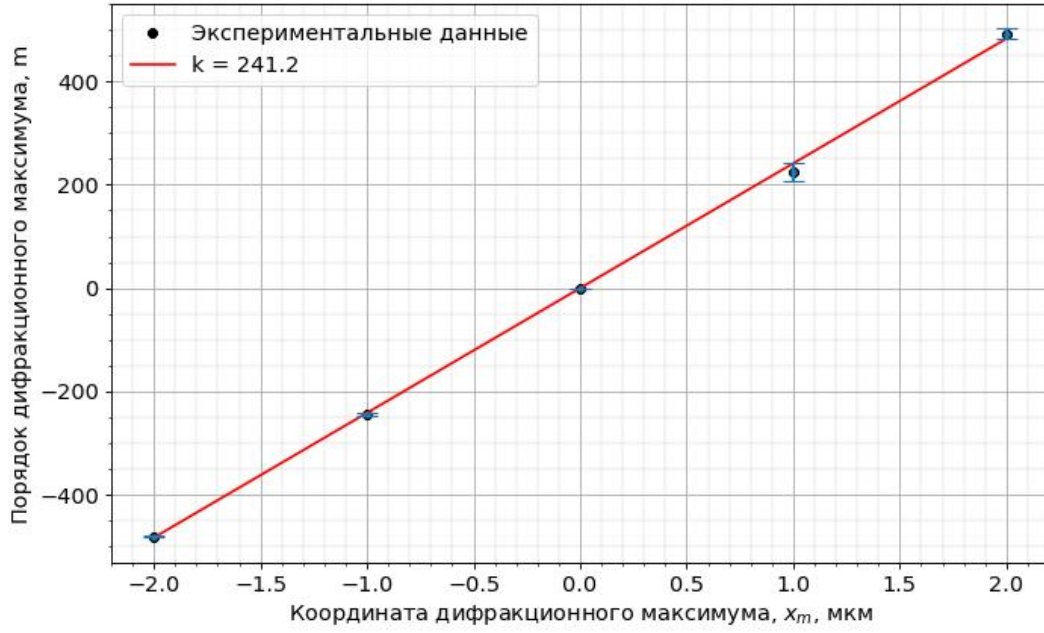


Рис. 5: График зависимости функции  $x_m = F(m)$  для частоты  $\nu_2 = 1.829$  МГц

$$k = \frac{\Delta x_m}{m} = (241.2 \pm 3.2) \frac{1}{\text{мкм}} \Rightarrow \frac{l_m}{m} = (241.2 \pm 3.2) \frac{1}{\text{мкм}}$$

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

$$\Rightarrow \Lambda_2 = 30 \cdot 10^{-2} \cdot 6400 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1}{241.2} \cdot 10^6 = 796.1 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

$$\sigma_{\Lambda} = \Lambda \sqrt{\left(\frac{\sigma_{l_m/m}}{l_m/m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda}}{\lambda}\right)^2} \Rightarrow \sigma_{\Lambda_2} = 796.1 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\left(\frac{3.2}{241.2}\right)^2 + \left(\frac{200}{6400}\right)^2} = 27.1 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

$$\boxed{\Lambda_2 = (796.1 \pm 27.1) \cdot 10^{-6} \text{ м } (\varepsilon = 3.4\%).}$$

$$v = \Lambda \nu \Rightarrow v_2 = 796.1 \cdot 10^{-6} \cdot 1.829 \cdot 10^6 = 1456.1 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\sigma_v = v \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\Lambda}}{\Lambda}\right)^2} \Rightarrow \sigma_{v_2} = 1456.1 \cdot \frac{27.1 \cdot 10^{-6}}{796.1 \cdot 10^{-6}} = 49.6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\boxed{v_2 = (1456.1 \pm 49.6) \frac{\text{м}}{\text{с}} (\varepsilon = 3.4\%).}$$

$\nu_3 = 3.468$  МГц: график представлен на рисунке 6.

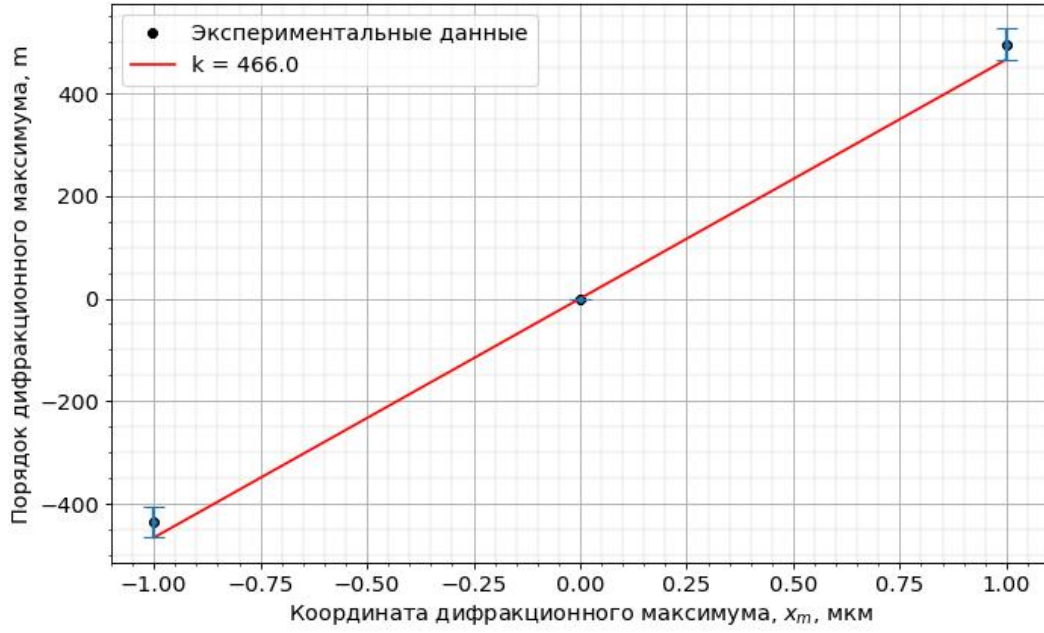


Рис. 6: График зависимости функции  $x_m = F(m)$  для частоты  $\nu_3 = 3.468$  МГц

$$k = \frac{\Delta x_m}{m} = (466.0 \pm 21.2) \frac{1}{\text{МКМ}} \Rightarrow \frac{l_m}{m} = (466.0 \pm 21.2) \frac{1}{\text{МКМ}}$$

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

$$\Rightarrow \Lambda_3 = 30 \cdot 10^{-2} \cdot 6400 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1}{466.0} \cdot 10^6 = 412.0 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

$$\sigma_\Lambda = \Lambda \sqrt{\left(\frac{\sigma_{l_m/m}}{l_m/m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}\right)^2} \Rightarrow \sigma_{\Lambda_3} = 412.0 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\left(\frac{21.2}{466.0}\right)^2 + \left(\frac{200}{6400}\right)^2} = 22.7 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

$$\boxed{\Lambda_3 = (412.0 \pm 22.7) \cdot 10^{-6} \text{ м } (\varepsilon = 5.5\%).}$$

$$v = \Lambda \nu \Rightarrow v_2 = 412.0 \cdot 10^{-6} \cdot 3.468 \cdot 10^6 = 1428.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\sigma_v = v \sqrt{\left(\frac{\sigma_\Lambda}{\Lambda}\right)^2} \Rightarrow \sigma_{v_3} = 1428.8 \cdot \frac{22.7 \cdot 10^{-6}}{412.0 \cdot 10^{-6}} = 78.7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\boxed{v_3 = (1428.8 \pm 78.7) \frac{\text{м}}{\text{с}} (\varepsilon = 5.5\%).}$$

$\nu_4 = 3.958$  МГц: график представлен на рисунке 7.

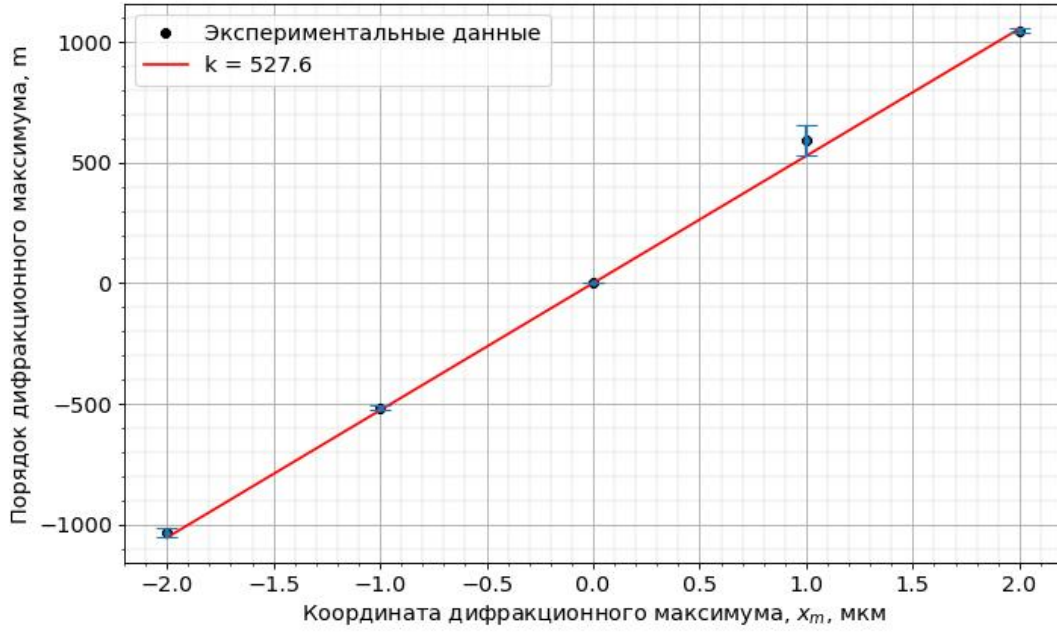


Рис. 7: График зависимости функции  $x_m = F(m)$  для частоты  $\nu_4 = 3.958$  МГц

$$k = \frac{\Delta x_m}{m} = (527.6 \pm 10.8) \frac{1}{\text{мкм}} \Rightarrow \frac{l_m}{m} = (527.6 \pm 10.8) \frac{1}{\text{мкм}}$$

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

$$\Rightarrow \Lambda_4 = 30 \cdot 10^{-2} \cdot 6400 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1}{527.6} \cdot 10^6 = 363.9 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

$$\sigma_\Lambda = \Lambda \sqrt{\left(\frac{\sigma_{l_m/m}}{l_m/m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}\right)^2} \Rightarrow \sigma_{\Lambda_4} = 363.9 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\left(\frac{10.8}{527.6}\right)^2 + \left(\frac{200}{6400}\right)^2} = 13.6 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

$$\boxed{\Lambda_4 = (363.9 \pm 13.6) \cdot 10^{-6} \text{ м } (\varepsilon = 3.7\%).}$$

$$v = \Lambda \nu \Rightarrow v_4 = 363.9 \cdot 10^{-6} \cdot 3.958 \cdot 10^6 = 1440.3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\sigma_v = v \sqrt{\left(\frac{\sigma_\Lambda}{\Lambda}\right)^2} \Rightarrow \sigma_{v_4} = 1440.3 \cdot \frac{13.6 \cdot 10^{-6}}{363.9 \cdot 10^{-6}} = 53.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\boxed{v_4 = (1440.3 \pm 53.8) \frac{\text{м}}{\text{с}} (\varepsilon = 3.7\%).}$$



$\nu_5 = 6.295$  МГц: график представлен на рисунке 8.

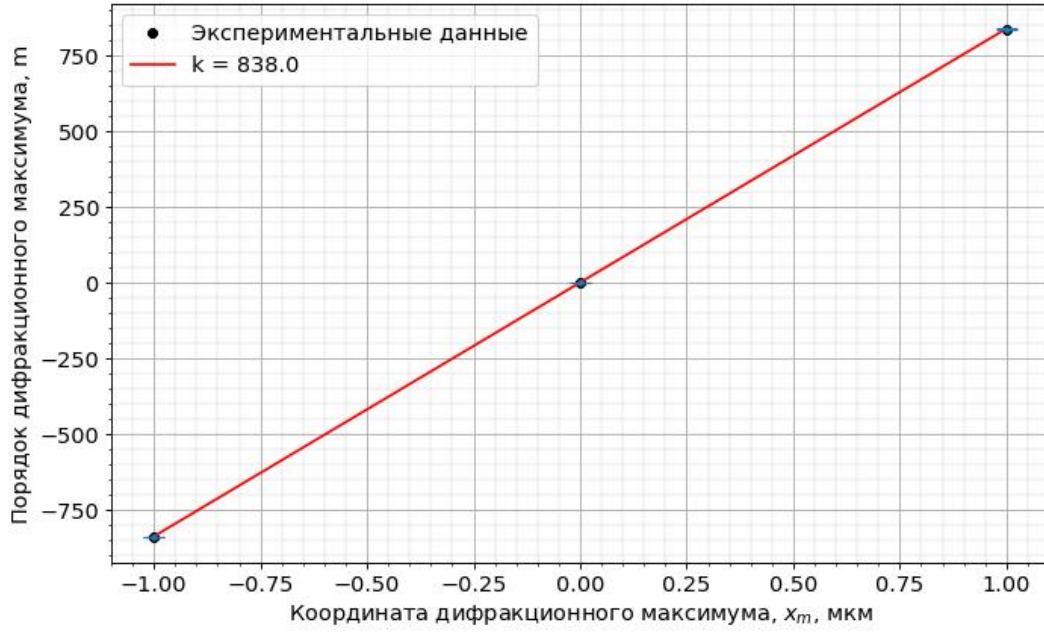


Рис. 8: График зависимости функции  $x_m = F(m)$  для частоты  $\nu_5 = 6.295$  МГц

$$k = \frac{\Delta x_m}{m} = (838.0 \pm 1.4) \frac{1}{\text{мкм}} \Rightarrow \frac{l_m}{m} = (838.0 \pm 1.4) \frac{1}{\text{мкм}}$$

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

$$\Rightarrow \Lambda_5 = 30 \cdot 10^{-2} \cdot 6400 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1}{838.0} \cdot 10^6 = 229.1 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

$$\sigma_{\Lambda} = \Lambda \sqrt{\left(\frac{\sigma_{l_m/m}}{l_m/m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda}}{\lambda}\right)^2} \Rightarrow \sigma_{\Lambda_5} = 229.1 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\left(\frac{1.4}{838.0}\right)^2 + \left(\frac{200}{6400}\right)^2} = 7.2 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

$$\boxed{\Lambda_5 = (229.1 \pm 7.2) \cdot 10^{-6} \text{ м } (\varepsilon = 3.1\%).}$$

$$v = \Lambda \nu \Rightarrow v_5 = 229.1 \cdot 10^{-6} \cdot 6.295 \cdot 10^6 = 1442.2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\sigma_v = v \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\Lambda}}{\Lambda}\right)^2} \Rightarrow \sigma_{v_5} = 1442.2 \cdot \frac{7.2 \cdot 10^{-6}}{229.1 \cdot 10^{-6}} = 45.3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\boxed{v_5 = (1442.2 \pm 45.3) \frac{\text{м}}{\text{с}} (\varepsilon = 3.1\%).}$$

## 2.2 Определение скорости ультразвука методом тёмного поля

1. Выключили генератор для того, чтобы в микроскоп было видно только изображение входной щели. Не смещая микроскоп, ввели микрометрическим винтом в поле зрения микроскопа вертикальную нить так, чтобы резкое изображение нити совпадало с резким изображением щели.

Не меняя положения отсчётного устройства, отодвинули микроскоп и поставили дополнительную линзу сразу за отсчётным микроскопом согласно рисунку 3.

2. Опустили в воду пластинку с миллиметровыми делениями и прижали её к задней стенке кюветы. Открыли пошире входную щель. Передвигая микроскоп, сфокусировали его на изображении линейки.
3. Для данного положения микроскопа определили цену деления окулярной шкалы в условиях опыта. Получили, что 18 штрихов окулярной шкалы соответствует 1-му делению линейки. Значит, цена деления окулярной шкалы составляет  $l_0 = \frac{1}{18}$  мм.
4. Убрали пластинку из кюветы и уменьшили ширину входной щели. Включили генератор. В микроскоп наблюдали звуковую решётку.
5. Определили длину УЗ-волны в воде. Для этого для 4-ёх частот с помощью окулярной шкалы измерили расстояние между самыми дальними из хорошо видимых в поле зрения тёмных полос и посчитали число промежутков между ними. Так же определили частоту с помощью частотометра. Результаты измерений представлены в таблице 2.

$N$	$\nu$ , МГц	$n_{\text{штрихов}}$	$l \cdot 10^{-6}$ , м	$m_{\text{миним}}$
1	1.196	43	2389	4
2	1.558	41	2278	5
3	1.835	65	3611	9
4	4.009	20	1111	6

Таблица 2: Результаты измерений для различных частот ультразвуковых волн в опыте с применением тёмного поля

$$\nu_1 = 1.196 \text{ МГц};$$

$$\frac{\Lambda}{2} = \frac{l}{m} \Rightarrow \Lambda = \frac{2l}{m} \Rightarrow \Lambda_1 = \frac{2 \cdot 2389 \cdot 10^{-6}}{4} = 1194.5 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$v = \Lambda \nu \Rightarrow v_1 = 1194.5 \cdot 10^{-6} \cdot 1.196 \cdot 10^6 = 1428.6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\nu_2 = 1.556 \text{ МГц};$$

$$\frac{\Lambda}{2} = \frac{l}{m} \Rightarrow \Lambda = \frac{2l}{m} \Rightarrow \Lambda_2 = \frac{2 \cdot 2278 \cdot 10^{-6}}{5} = 911.2 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$v = \Lambda \nu \Rightarrow v_2 = 911.2 \cdot 10^{-6} \cdot 1.556 \cdot 10^6 = 1417.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\nu_3 = 1.835 \text{ МГц};$$

$$\frac{\Lambda}{2} = \frac{l}{m} \Rightarrow \Lambda = \frac{2l}{m} \Rightarrow \Lambda_3 = \frac{2 \cdot 3611 \cdot 10^{-6}}{9} = 802.4 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$v = \Lambda \nu \Rightarrow v_3 = 802.4 \cdot 10^{-6} \cdot 1.835 \cdot 10^6 = 1472.5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\nu_4 = 4.009 \text{ МГц};$$

$$\frac{\Lambda}{2} = \frac{l}{m} \Rightarrow \Lambda = \frac{2l}{m} \Rightarrow \Lambda_4 = \frac{2 \cdot 1111 \cdot 10^{-6}}{6} = 370.3 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$v = \Lambda \nu \Rightarrow v_4 = 370.3 \cdot 10^{-6} \cdot 4.009 \cdot 10^6 = 1484.7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

### 3 Подведение итогов и выводы

В ходе данной работы мы исследовали дифракцию света на ультразвуковой волне в жидкости на установке с вертикальной щелью. В результате исследования, мы определили скорость ультразвука по дифракционной картине. Результаты представлены в свободной таблице 3.

$N$	$\nu$ , МГц	$\Lambda \cdot 10^{-6}$ , м	$\sigma_\Lambda \cdot 10^{-6}$ , м	$v$ , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\sigma_v$ , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$
1	1.154	1223.7	38.9	1412.2	44.9
2	1.829	796.1	27.1	1456.1	49.6
3	3.468	412.0	22.7	1428.8	78.8
4	3.958	363.9	13.6	1440.3	53.8
5	6.295	229.1	7.2	1442.2	45.3

Таблица 3: Свобная таблица

По табличным данным скорость распространения ультразвуковых волн в воде составляет  $v^{table} \approx 1500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Полученные значения с учётом погрешности очень близки к табличному, что говорит о точности метода определения скорости ультразвуковых волн.

Вторым экспериментом в данной лабораторной работе было определение скорости ультразвука методом тёмного поля. Несмотря на то, что звуковая решётка в ходе выполнения получилась не очень чёткой, мы смогли снять измерения и рассчитать скорость ультразвука. Результаты представлены в таблице 4.

$N$	$\nu$ , МГц	$\Lambda \cdot 10^{-6}$ , м	$v$ , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$
1	1.196	1194.5	1428.6
2	1.556	911.2	1417.8
3	1.835	802.4	1472.5
4	4.009	370.3	1484.7

Таблица 4: Свобная таблица при измерении методом тёмного поля

И в этом случае результаты с учётом погрешности так же соответствуют табличному значению.