

# Лабораторная работа 4.3.2

## Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости

Гаврилин Илья Дмитриевич  
Б01-101

8 апреля 2023 г.

### 1 Аннотация

В работе определили скорость звуковой волны в жидкости при помощи дифракционной картины. Также в качестве второго способа воспользовались методом темного поля.

### 2 Теоретические сведения

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  $\phi$  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  $\theta$ , соответствующими максимумам в дифракции Фраунгофера:

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

Этот эффект проиллюстрирован на рисунке 1.

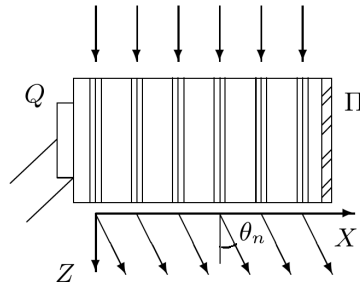


Рис. 1: Дифракция световых волн на акустической решетке

Зная положение дифракционных максимумов, по формуле (1) легко определить длину ультразвуковой волны, учитывая малость  $\theta$ :  $\sin \theta \approx \theta \approx l_m/F$ , 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  $\nu$  — частота колебаний излучателя:

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

### 3 Ход работы

#### 3.1 Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

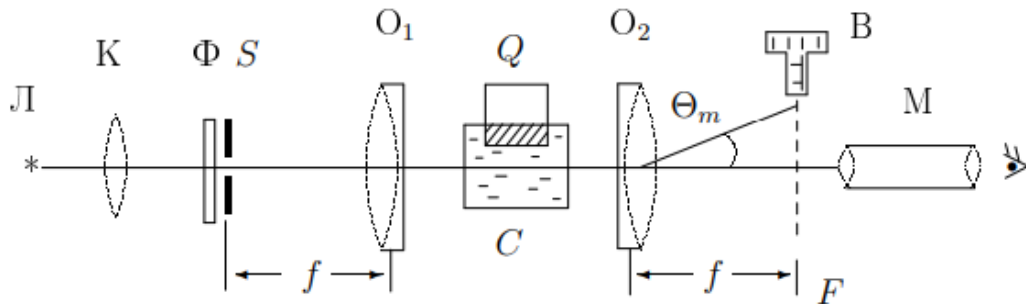


Рис. 2: Схема экспериментальной установки

Для получения картинки в данном случае на кювету с водой подается сигнал с ультразвукового излучателя, после с помощью подстройки частоты и положения излучателя в воде подбирается момент образования стоячей волны. В микроскоп наблюдаем дифракцию на данной акустической решетке. В ходе работы была замечена сильная нестабильность показаний генератора на частотах больше 3-4 МГц, также отсутствовала возможность полноценно сфокусироваться на нижней поверхности щели, ввиду чего пострадало качество получаемых дифракционных картин. Ввиду вышеперечисленного замеры проводились на частотах до 2 МГц, пока картинка была различима.

**Построим зависимости координаты минимума от его номера для различных частот.**

n	-1	0	1	2
x, мкм	2.62	2.36	2	1.69

Таблица 1: Зависимость координаты от порядка минимума ( $f = 983.321$  кГц)

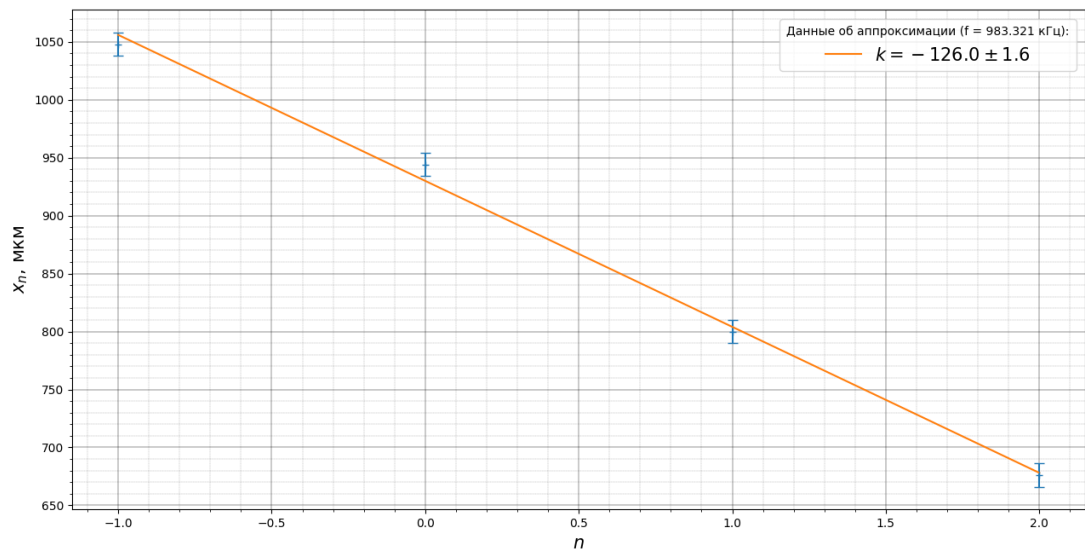


Рис. 3: График зависимости координаты от порядка минимума ( $f = 983.321$  кГц)

n	-2	-1	0	1	2
x, мкм	2.67	2.32	2.29	1.64	1.23

Таблица 2: Зависимость координаты от порядка минимума ( $f = 1.137$  МГц)

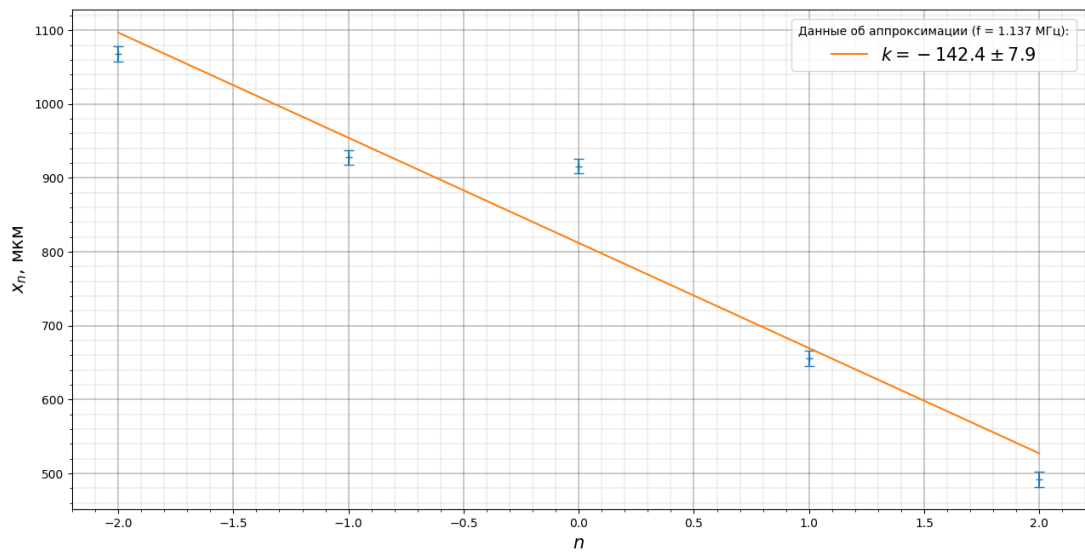


Рис. 4: График зависимости координаты от порядка минимума ( $f = 1.137$  МГц)

n	-1	0	1
x, мкм	2.57	2.16	1.47

Таблица 3: Зависимость координаты от порядка минимума ( $f = 1.9$  МГц)

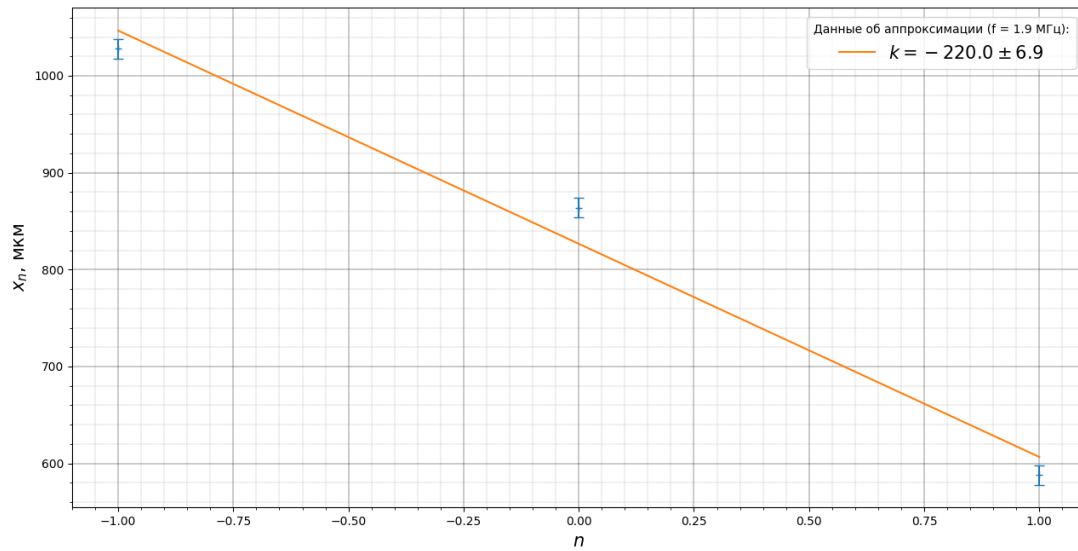


Рис. 5: График зависимости координаты от порядка минимума ( $f = 1.9$  МГц)

Сведем полученные данные в одну таблицу и произведем расчет скорости распространения волны в жидкости.

$f$ , МГц	$k$ , мкм	$\delta k$ , мкм	$\Lambda$ , мкм	$\delta \Lambda$ , мкм	$v$ , м/с	$\delta v$ , м/с
0.983	126.0	1.6	1523.8	20.3	1497.9	19.0
1.137	142.4	7.9	1348.3	75.8	1533.0	85.2
1.900	220.0	6.9	872.7	27.3	1658.2	52.0

Таблица 4: Результаты расчета скорости ультразвука

Итого получили для скорости распространения ультразвука в жидкости:  $v = 1562 \pm 85.2$  м/с. Полученные значения хорошо сходятся с теоретическими.

### 3.2 Определение скорости ультразвука методом темного поля

Для наблюдения акустической решетки используется метод темного поля, который заключается в устранении центрального дифракционного максимума с помощью непрозрачного экрана. Схема установки показана на рисунке 6.

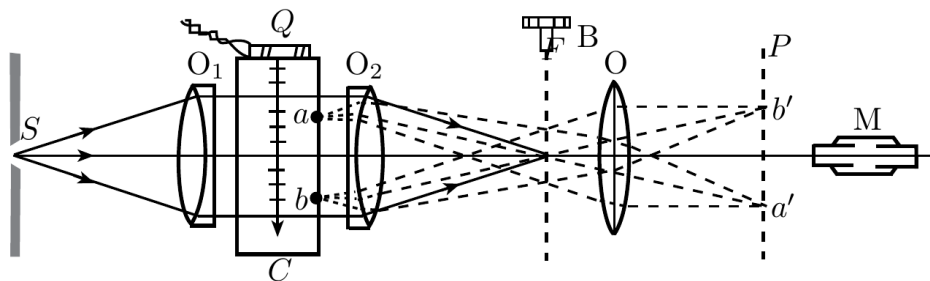


Рис. 6: Схема наблюдения дифракции методом темного поля

Приставим к задней стенке (для светового луча) кюветы стеклянную пластинку с миллиметровыми делениями; сфокусируем микроскоп на изображение пластинки. Определим цену деления

окулярной шкалы микроскопа, совместив ее с миллиметровыми делениями: в 6 делениях миллиметровой шкалы убирается 100 маленьких делений окулярной. Значит, цена деления окулярной шкалы:  $C = 0,06$  мм.

Без применения метода темного поля звуковая решетка не наблюдается. Закроем нулевой максимум горизонтальной нитью. Таким образом, осевая составляющая фазово-модулированной волны поглощается, а боковые остаются без изменения. Получившееся поле:

$$f(x) = \frac{im}{2}e^{i\Omega x} + \frac{im}{2}e^{-i\Omega x} = im \cos \Omega x; I(x) = m^2 \cos^2 \Omega x = m^2 \frac{1 + \cos^2 2\Omega x}{2} \quad (6)$$

Отсюда получаем, что расстояние между темными полосами есть  $\Lambda/2$ .

Проведем измерение длины ультразвуковой волны, приняв ошибку равной цене деления окулярной шкалы. В таблице 6 содержатся количество маленьких делений окулярной шкалы  $N$  (цена деления  $C = 0,06$ ), соответствующее  $n$  темным полосам акустической решетки. Формулы для расчета длины волны ультразвука  $\Lambda$  и скорости распространения  $v$  в воде:

$$\Lambda/2 = NC/(n - 1), \quad v = \nu\Lambda \quad (7)$$

Расчеты также приведены в таблице 6. Ошибка при таком определении скорости звука больше, чем в первой части работы, и составляет около 5%. Сами значения тоже получились больше.

$\nu$ , МГц	Кол.дел. $N$	Кол. т.полос $n$	$\Lambda$ , мм	$v$ , 10 м/с	$\Delta v$ , 10 м/с
1,220	150	15	1,29	157	7
1,259	150	16	1,20	151	8
1,271	175	18	1,24	157	8

Вычисление длины ультразвуковой волны  $\Lambda$  и скорости распространения ее в воде  $v$  методом темного поля

## 4 Выводы

В работе измерили скорость распространения ультразвука в воде. Получили:  $v = 1562 \pm 85.2$  м/с, табличное значение:  $v = 1500$  м/с. Полученное значение совпадает с теоретическим в пределах погрешности.

Значение полученное при помощи метода темного поля совпадает с теоретическим