

# Работа 4.3.2Б

## ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЕ В ЖИДКОСТИ

Подлесный Артём  
группа 827

4 марта 2020 г.

**Цель работы:** изучение дифракции света на синусоидальной акустической решётке и наблюдение фазовой решётки методом тёмного поля.

**Оборудование:** оптическая скамья, осветитель, два длиннофокусных объектива, кювета с жидкостью, кварцевый излучатель с микрометрическим винтом, генератор ультразвуковой частоты, линза, вертикальная нить на рейтере, микроскоп.

### Краткая теория

В работе изучается дифракция света на фазовой решётке. Фазовая решётка создаётся в жидкости ультразвуковыми волнами и наблюдается методом тёмного поля.

При прохождении ультразвуковой (УЗ) волны через жидкость в ней возникают периодические оптические неоднородности, обусловленные разницей значений коэффициента преломления в областях сжатия и разрежения. Эти периодические неоднородности играют роль своеобразной дифракционной решётки для проходящего сквозь жидкость света. При небольших амплитудах звуковой волны показатель преломления жидкости  $n$  меняется по закону:

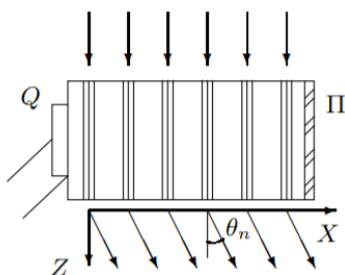


Рис. 1: Дифракция световых волн на акустической решётке

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

где  $\Omega$  — волновое число для УЗ-волны ( $\Omega = 2\pi/\Lambda$ ),  $\Lambda$  — длина УЗ-волны,  $m$  — глубина модуляции показателя преломления, определяемая интенсивностью ультразвуковой волны ( $m \ll 1$ ).

Пусть фаза световых колебаний на передней поверхности жидкости равна нулю. Тогда на задней поверхности (т.е. в плоскости  $z = 0$ ) она равна

$$\varphi = knL = \varphi_0(1 + m \cos \Omega x), \quad (2)$$

где  $L$  — толщина слоя жидкости в кювете,  $k$  — волновое число для света ( $k = 2\pi/\lambda$ ),  $\lambda$  — длина световой волны,  $\varphi_0 = kn_0L$ . Таким образом, в плоскости  $z = 0$  фаза световых колебаний является периодической функцией координаты  $x$ , иными словами — УЗ-волна в жидкости создаёт фазовую дифракционную решётку. Условие, при котором можно рассматривать решетку как чисто фазовую, можно записать так:

$$m \ll \frac{\Lambda}{L} \sqrt{\frac{\lambda}{L}}. \quad (3)$$

Таким образом, чисто фазовая акустическая решётка реализуется лишь на достаточно слабой УЗ-волне. При повышении мощности ультразвука акустическая волна начинает работать как сложная амплитуднофазовая решётка. В общем случае после прохождения через кювету световое поле представляет совокупность не трёх, а большого числа плоских волн, распространяющихся под углами, определяемыми условием

$$\Lambda \sin \theta_m = m\lambda, \quad (m = 0, \pm 1, \dots). \quad (4)$$

Каждая из этих волн соответствует одному из максимумов в дифракционной картине Фраунгофера. Определяя на опыте положение дифракционных максимумов различного порядка, можно по формуле найти длину  $\Lambda$  УЗ-волны и вычислить скорость  $v$  распространения ультразвуковых волн в жидкости, если известна частота  $\nu$  колебаний кварцевого излучателя:

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

## Экспериментальная установка

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

$$l_m = mf \frac{\lambda}{\Lambda}, \quad (6)$$

где  $l_m$  — измеренное на опыте линейное расстояние между  $m$ -м и нулевым максимумами, а  $f$  — фокусное расстояние объектива О2.

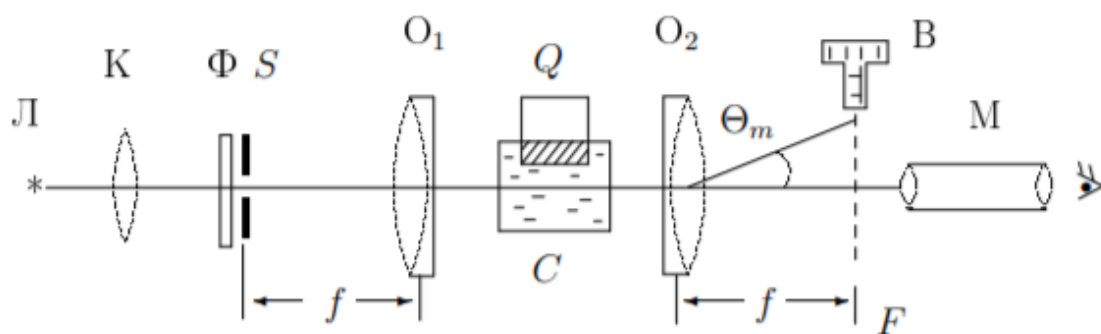


Рис. 2: Схема для наблюдения дифракции на акустической решётке.

## 1 Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

В работе предлагается измерить координаты дифракционных полос, образующихся при дифракции света на акустической решётке, а также определить период этой решётки методом тёмного поля. По результатам измерений рассчитывается скорость ультразвука в воде. Все измерения ведутся на стоячей волне.

После настройки оборудования, была получена дифракционная картина. По ней, измерив по порядку длину УЗ-волны, как удвоенное расстояние между соседними дифракционными картинками, по (5) была измерена приближительная скорость звука в воде. Результаты на таблице 1.

$\lambda$ , мкм	$f$ , МГц	$v$ , м/с
690	1.111	1533

Таблица 1

Как видно, приближенное значение соответствует действительности, так как скорость звука в воде колеблется в районе 1500 м/с.

После этого была проведена основная работа этого пункта, были определены положения дифракционных полос при разной рабочей частоте. Эти данные показаны на таблице 2:

Как видно, полос довольно мало, что связано с недостаточно хорошей настройкой установки. Для каждой из частот построен график, по которому можно определить расстояние между дифракционными полосами. График показан на рис 3.

Таким образом получена зависимость длины УЗ волны  $\Lambda$  от частоты с помощью формулы (6). На основе нее, с помощью формулы (5) получена зависимость скорости звука от рабочей частоты. Обе зависимости представлены

$f$ , МГц	$Y$ , дел	$m$
1.023	76	2
	47	1
	19	0
	-16	-1
	-49	-2
2.161	83	1
	19	0
	-54	-1
4.477	153	1
	19	0
	-124	-1
0.862	43	1
	19	0
	-11	-1
	-40	-2

Таблица 2: Координаты дифракционных полос. Отмерены с помощью винта В. Один оборот - 100 делений, так что обороты так же учитывались. Все необходимые данные по цене деления представлены на установке.

на таблице 3.

$f$ , МГц	$l$ , мкм	$\sigma_l$ , мкм	$\Lambda$ , см	$\sigma_\Lambda$ , см	$v$ , м/с	$\sigma_v$ , м/с
0.862	112	4	160.00	10.71	1379.20	92.36
1.023	125	3	143.36	7.92	1466.20	81.01
2.161	274	10	65.40	4.43	1413.63	95.77
4.477	554	10	32.35	1.59	1448.25	71.40

Таблица 3: Зависимости длин волн и скоростей звука в воде от частоты генератора.

Данные вполне достоверны, тк близки к табличным значениям.  
Средняя скорость звука в воде, полученная в работе, равна:

$$v_{зв} = 1427 \pm 86 \text{ м/с.}$$

## Определение скорости ультразвука методом тёмного поля

После настройки оборудования, когда был затемнен первый максимум, и была получена звуковая дифракционная картина, был проведен эксперимент. В

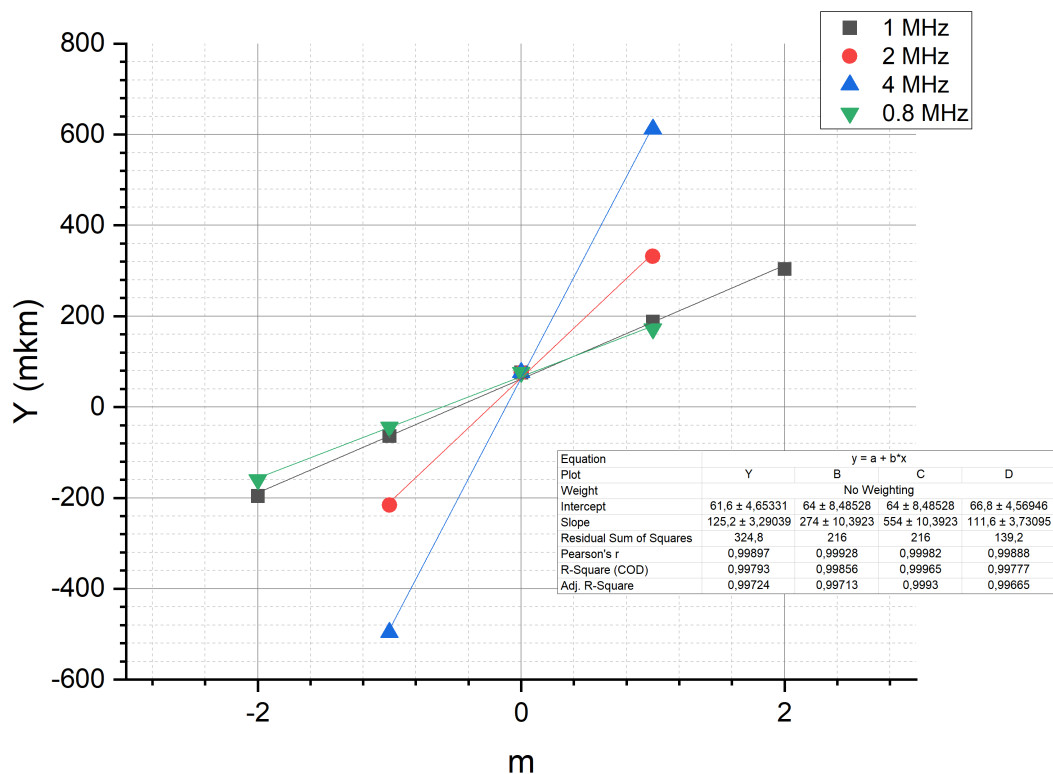


Рис. 3: График зависимости  $Y(m)$ . Разными цветами обозначены графики для разных рабочих частот.

зависимости от частоты измерялись координаты первой и последней хорошо видимых темных полос, а так же кол-во светлых между ними. На основании этого можно определить  $\Lambda$ . Данные на таблице 4.

f MHz	Y1	Y2	N	l
2.168	5	150	18	64.44
4.430	23	125	26	31.38
1.552	20	120	9	88.89
1.178	30	105	5	120.00

Таблица 4: Экспериментально, при помощи метода темного поля, определенная длина УЗ волны в зависимости от частоты.

Осталось лишь определить скорость звука из соответствующего графика, представленного на рис 4.

Из коэффициента наклона находим значение для скорости ультразвука в воде:

$$v = 1414 \pm 25 \text{ м/с.}$$

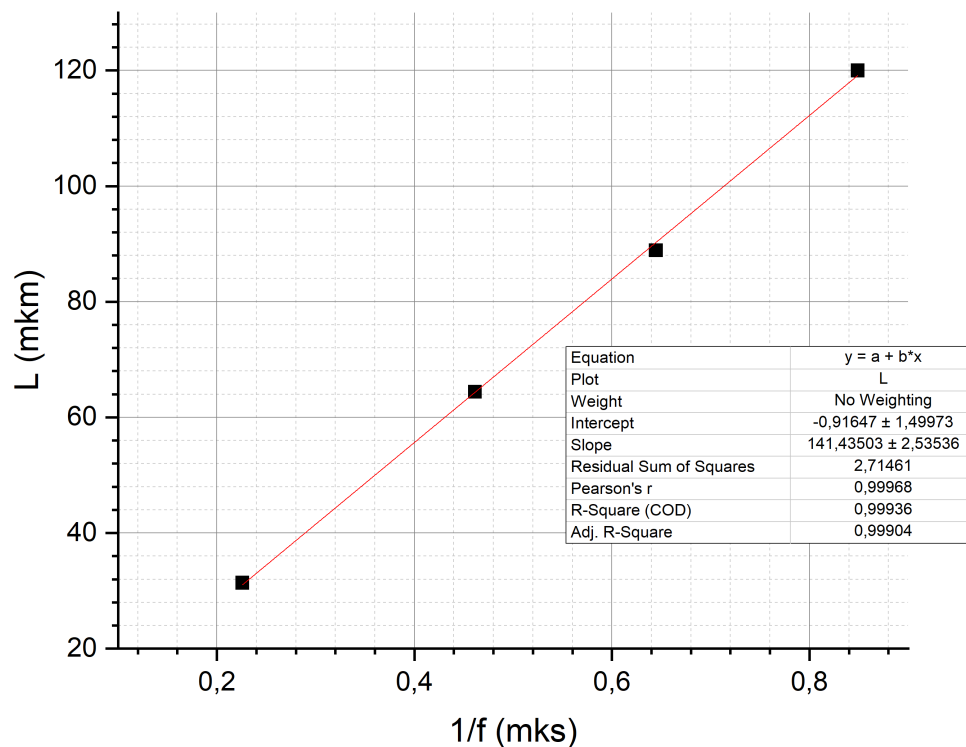


Рис. 4: График зависимости  $\Lambda(\frac{1}{\nu})$ . Хотя он и построен по 4 точкам, но я им горжусь. Так, в целом, выглядят все графики в этой работе.

Однако погрешность этого значения не до конца соответствует действительности, так как при непосредственном измерении кол-ва светлых полос можно было легко обсчитаться. К тому же границы дифр решетки были достаточно размыты, так что не было четкого критерия для определения  $Y_1$  и  $Y_2$ . Тем не менее результаты двух методов вполне согласуются.

## Вывод

Была изучена дифракция света на синусоидальной акустической решетке, и фазовая решетка наблюдалась методом темного поля. В ходе работы скорость ультразвука в воде была определена двумя способами: по дифракционной картине и методом темного поля. Полученные этими способами результаты совпали с хорошей точностью. Недосток возможности получения большего кол-ва данных связан прежде всего с не совсем точной настройкой оборудования, что, в свою очередь, связано с недостатком опыта у студентов в работе с оптикой.