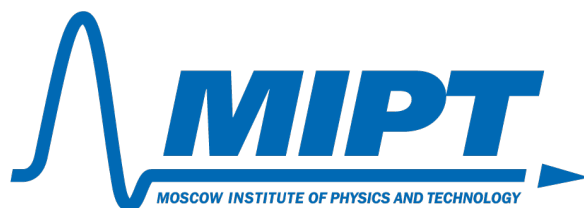


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ



Лабораторная работа № 4.3.2

Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости

Баранов Даниил
Группа Б02-103

Долгопрудный, 2023 г.

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

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

1 Теоретическая справка

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 ϕ колебаний световой волны на передней стенке кюветы равной нулю, тогда на задней поверхности она равна:

$$\phi = knL = \phi_0(1 + m \cos \Omega x) \quad (2)$$

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 θ , соответствующими максимумам в дифракции Фраунгофера:

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

Этот эффект проиллюстрирован на рисунке 1.

Зная положение дифракционных максимумов, по формуле (1) легко определить длину ультразвуковой 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 получим:

$$\Lambda = m\lambda F/l_m \quad (4)$$

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

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

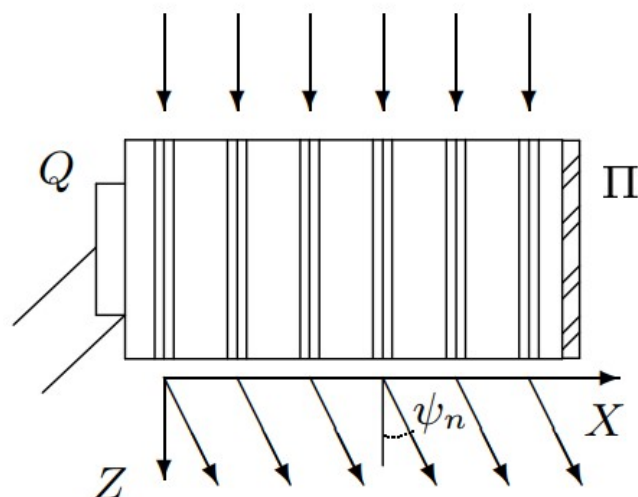


Рис. 1: Эффект дифракции на ультразвуковой волне

2 Экспериментальная установка

На рисунке 2 изображена схема экспериментальной установки. Источник света Л с помощью конденсора К проецируется на входную щель S . Входная щель ориентирована горизонтально и прикрыта красным светофильтром Φ . Коллиматорный объектив O_1 посылает параллельный пучок на кювету с водой. Излучатель Q создаёт УЗ-волну. Параллельный пучок света, диффразируя на стоячей звуковой волне, образует дифракционную картину в фокальной плоскости F камерного объектива O_2 . Картину можно наблюдать в микроскоп M .

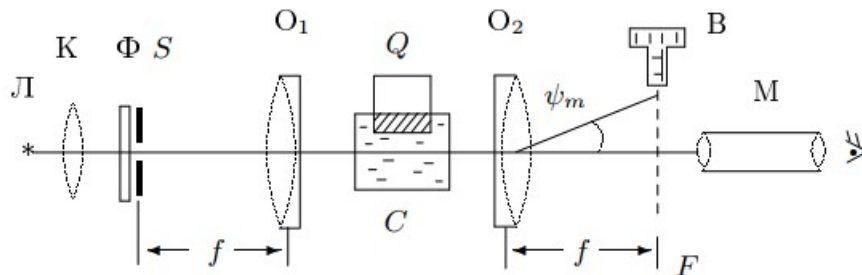


Рис. 2: Схема экспериментальной установки

3 Ход работы

3.1 Определение скорости звука по дифракционной картине

Изначально была собрана схема и проведена юстировка системы. Для различных частот генератора Q изучаем дифракционную картину. Результаты измерений приведены в таблицах 1 и 2. Сами измерения производились в делениях, одно деление соответствует 4 микрометрам. Абсолютную погрешность считаем равной 1 делению.

Таблица 1: Первая таблица первого пункта

$\nu = 1,0084 \text{ МГц}$		$\nu = 1,17667 \text{ МГц}$		$\nu = 1,51635 \text{ МГц}$	
m	$x_m, \text{ мкм}$	m	$x_m, \text{ мкм}$	m	$x_m, \text{ мкм}$
-4	1036	-4		-4	
-3	912	-3		-3	
-2	788	-2	904	-2	988
-1	660	-1	768	-1	836
0	524	0	616	0	632
1	416	1	476	1	444
2	292	2	328	2	256
3	176	3		3	
4	64	4		4	

Таблица 2: Вторая таблица первого пункта

$\nu = 1,9986 \text{ МГц}$		$\nu = 4,43 \text{ МГц}$	
m	$x_m, \text{ мкм}$	m	$x_m, \text{ мкм}$
-2	960	-2	
-1	796	-1	1076
0	508	0	560
1	288	1	16
2	40	2	

По наклонам графиков определяем длину волны для каждой частоты по формуле 4 и скорость звука по формуле 5. Результаты приведены в таблице 3.

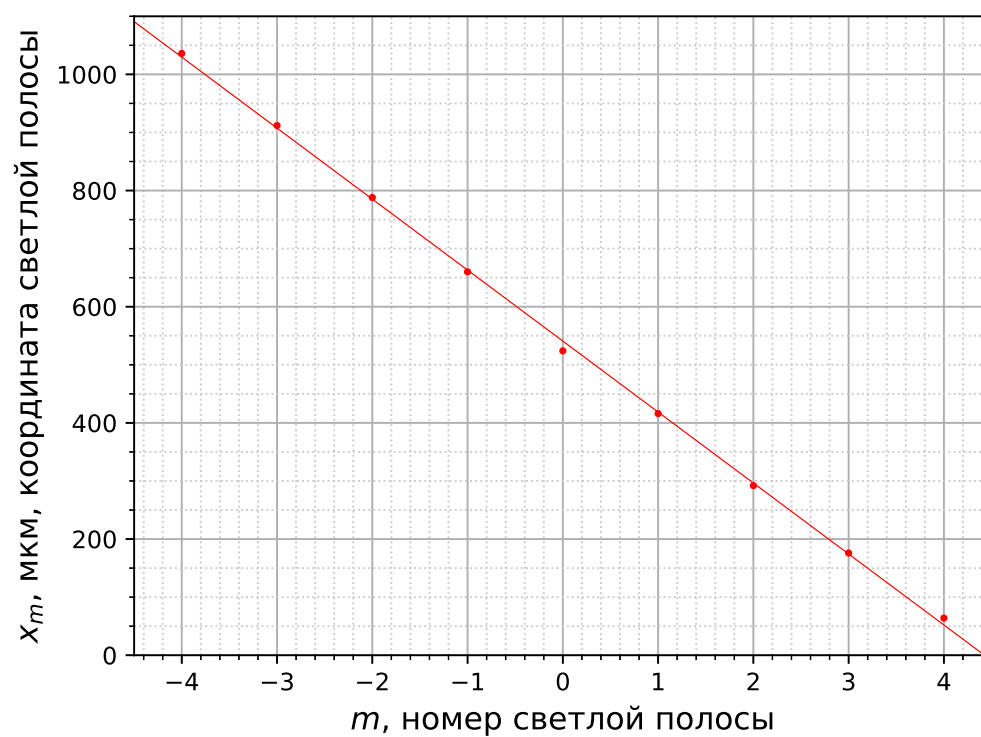


Рис. 3: График зависимости x_m от m для частоты 1,0084 МГц. Наклон кривой $k = -122,3 \pm 1,1$ мкм

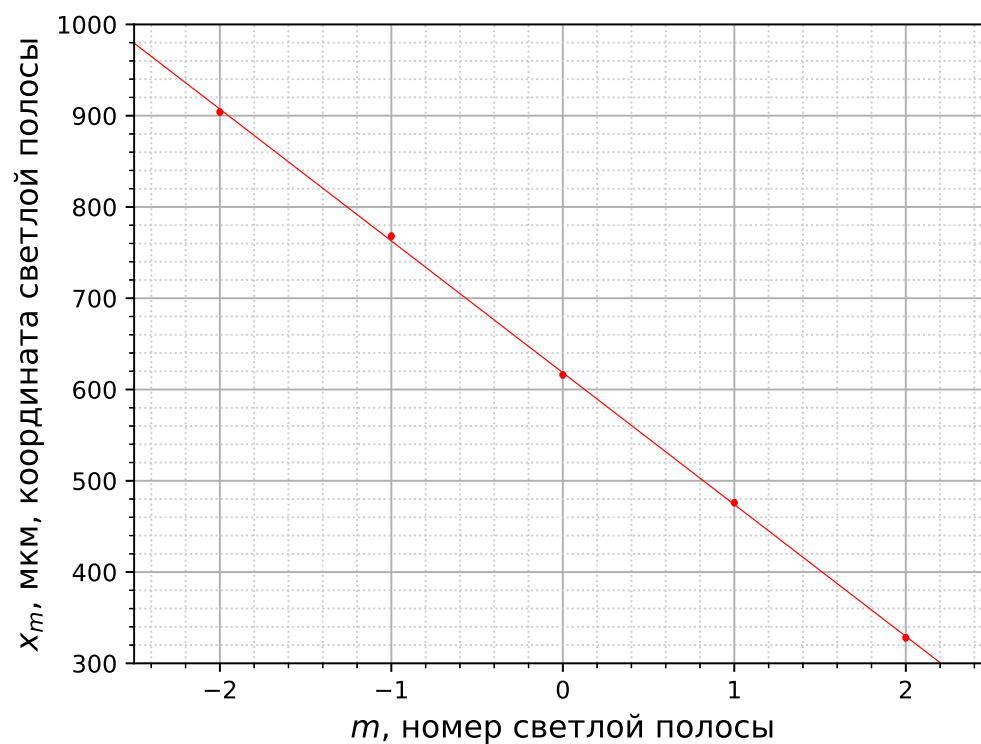


Рис. 4: График зависимости x_m от m для частоты 1,17667 МГц. Наклон кривой $k = -144 \pm 2$ мкм

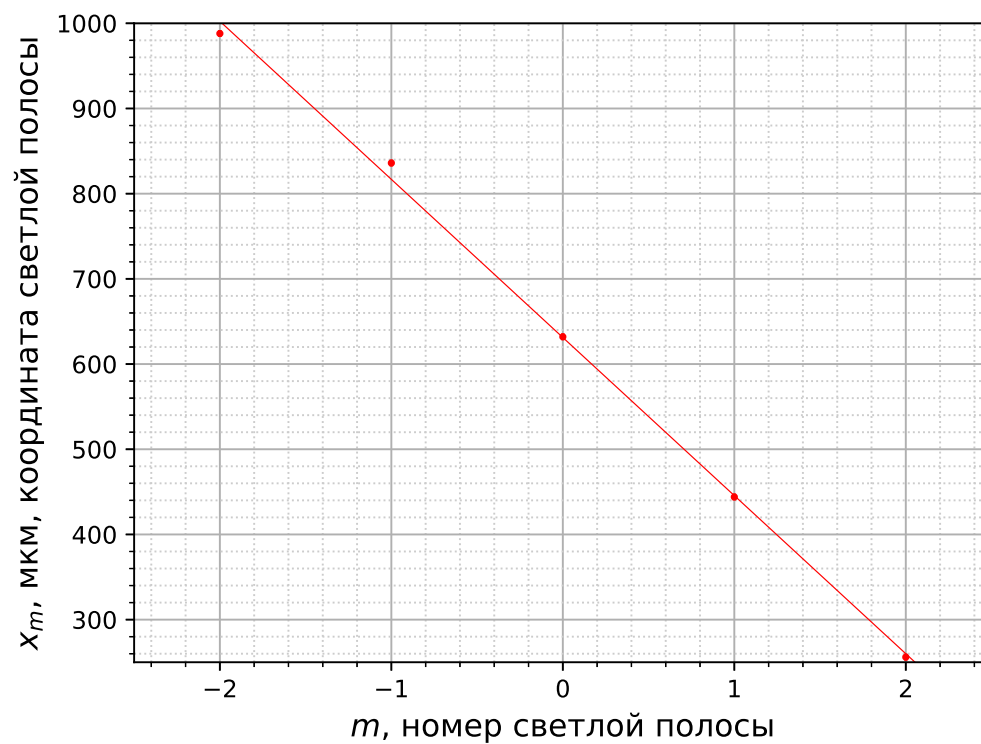


Рис. 5: График зависимости x_m от m для частоты 1,51635 МГц. Наклон кривой $k = -185 \pm 2$ мкм

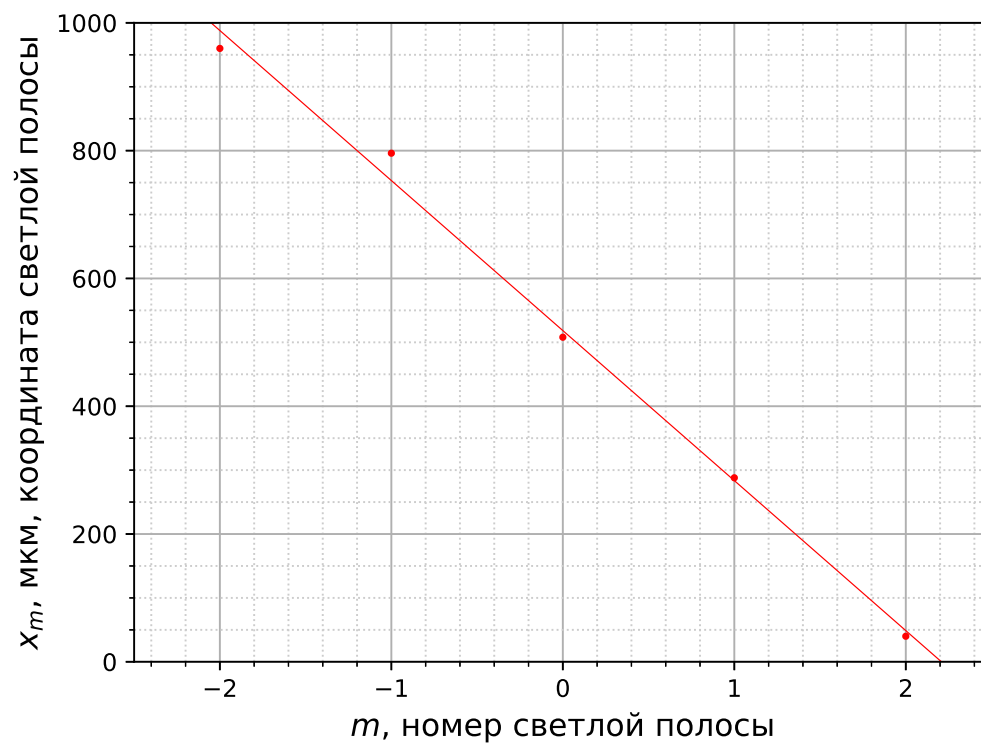


Рис. 6: График зависимости x_m от m для частоты 1,9986 МГц. Наклон кривой $k = -234 \pm 4$ мкм

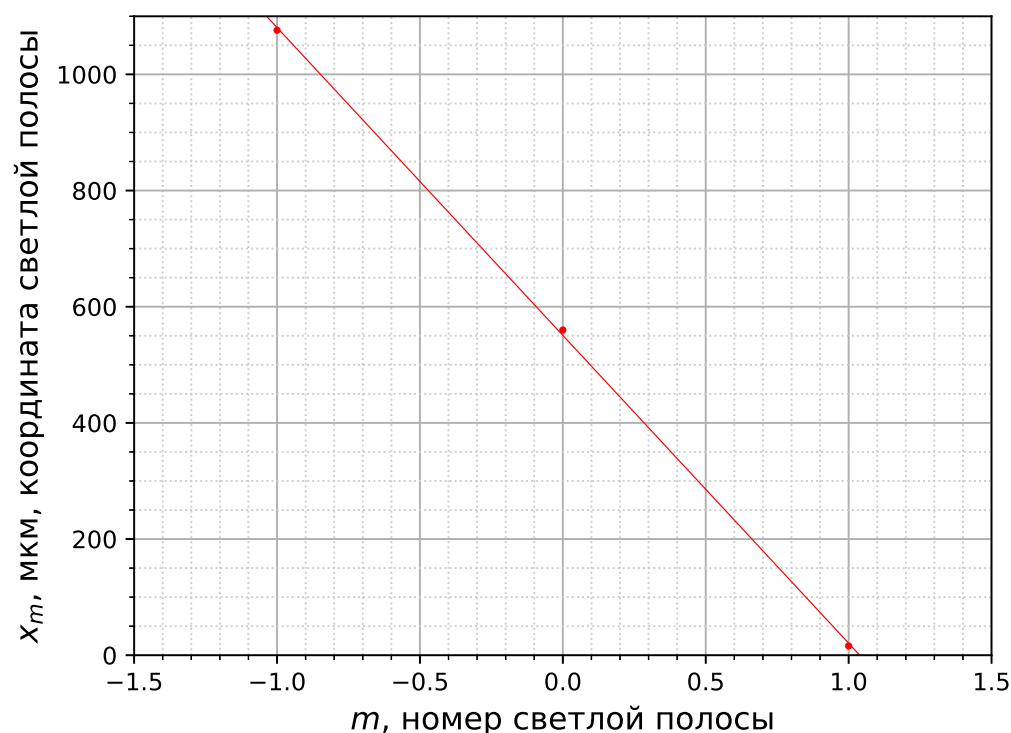


Рис. 7: График зависимости x_m от m для частоты 4,43 МГц. Наклон кривой $k = -530 \pm 8$ мкм

Таблица 3: Таблица со значениями длин волн и скоростей, посчитанными для разных частот

ν , МГц	Λ , м	c
1,0084	0,001465	1478
1,17667	0,001244	1464
1,51635	0,000969	1469
1,9986	0,000766	1531
4,43	0,000338	1498

Основную часть относительной погрешности измерения скорости звука составляет погрешность, возникающая из-за того, что фильтр пропускает диапазон частот, суммарная погрешность не превышает 3,5 процентов. Средняя скорость по результатам всех измерений равна $c = 1490 \pm 50$ м/с, что согласуется с табличным значением $c = 1490$ м/с.

3.2 Определение скорости звука методом тёмного поля

В данном пункте скорость ультразвука измеряется методом тёмного поля, для этого между микроскопом и щелью размещается дополнительная линза. Откалибруем схему, определим цену деления окулярной шкалы $1 \text{ дел} = 1,25$ мм.

Меняя частоту, будем наблюдать акустическую решётку. С помощью окулярной шкалы измерим при каждой частоте координаты первой и последней тёмной полосы, а также количество светлых промежутков между ними. Результаты измерений приве-

дены в таблице 4. По данным также рассчитаны длины УЗ-волн при разных частотах (с учётом удвоения числа наблюдаемых полос).

Таблица 4: Таблица с измерениями методом тёмного поля

ν , МГц	x_1 , дел	x_n , дел	n-1	Λ , мм	ε_Λ
1,27241	0,35	5	10	1,163	0,022
2,13342	0,5	5,1	17	0,676	0,022
1,13638	0,5	6,1	11	1,273	0,018
1,06176	0,15	6,15	11	1,364	0,017
1,52526	0,1	5,2	13	0,981	0,020
1,76265	0	5,5	16	0,859	0,018

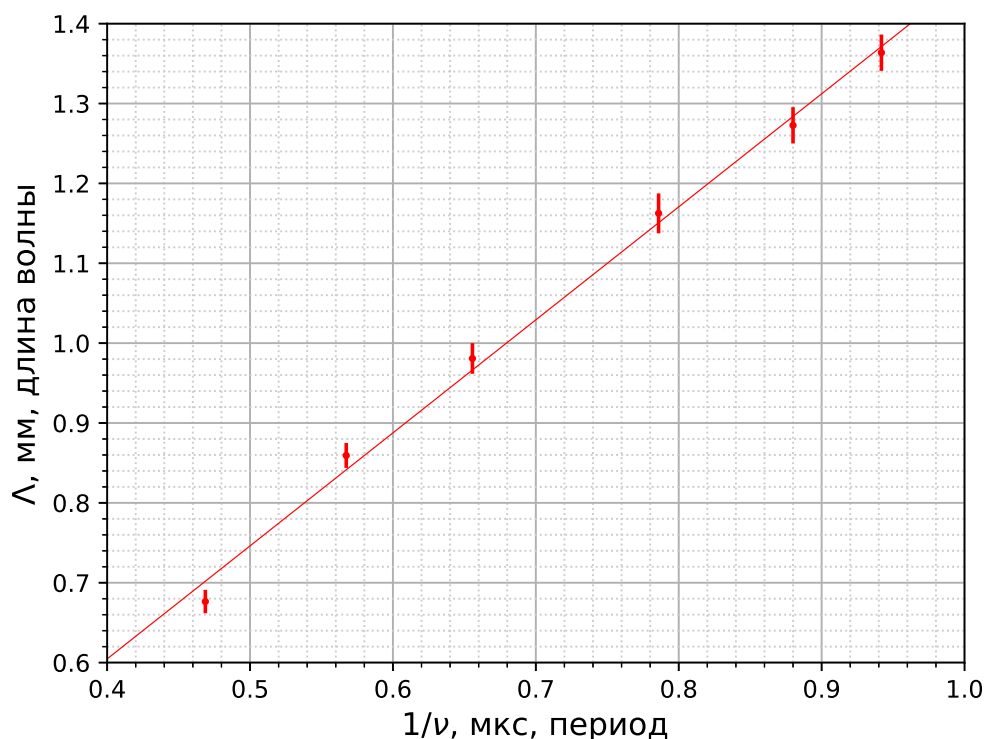


Рис. 8: График зависимости длины волны от обратной частоты

По таблице построен график зависимости длины волны от обратной частоты. Угловый коэффициент наклона равен $c = 1415 \pm 80$ м/с. Значение получилось сильно заниженным из-за большой погрешности измерений, но, в целом, сходится с тем, что получилось в предыдущем пункте.

4 Вывод

В данной работе была исследована дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости. С помощью измерений была определена скорость ультразвука (двумя способами - непосредственно по дифракционной картине и методом тёмного поля). Первый способ позволил достаточно точно определить скорость звука, полученное значение хорошо сошлось с табличным, во втором способе значение получено менее

точно из-за больших погрешностей при измерений координат полос, однако всё же сходится с табличным.



С праздником, Анна Андреевна!