
Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по курсу общей физики № 4.3.4

Преобразование Фурье в оптике

Автор:

Филиппенко Павел Б01-001



Долгопрудный, 2022

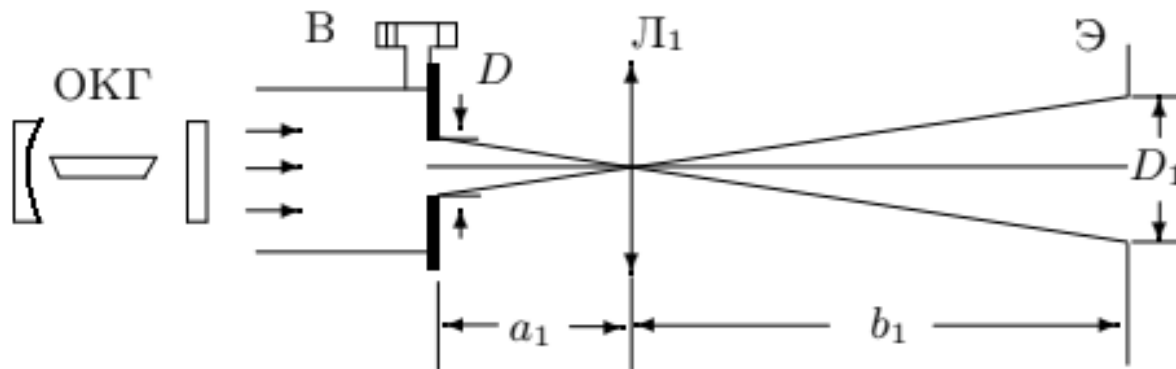


Рис. 1: Схема лабораторной установки для определения ширины щели

Цель работы: исследовать явление дифракции Фринеля и Фраунгофера на щели, изучить влияние дифракции на разрешающую способность оптических приборов.

В работе используются: гелий-неоновый лазер, кассета с набором сеток разного периода, щель с микрометрическим винтом, линзы, экран, линейка.

1 Введение

Анализ сложного волнового поля во многих случаях целесообразно проводить, разлагая его на простейшие составляющие, например, представляя его в виде разложения по плоским волнам. При этом оказывается, что если мы рассматриваем поле, полученное после прохождения плоской монохроматической волны через предмет или транспарант (изображение предмета на фотоплёнке или стеклянной пластинке) с функцией пропускания $t(x)$, то разложение по плоским волнам соответствует преобразованию Фурье от этой функции. Если за предметом поставить линзу, то каждая плоская волна сфокусируется в свою точку в задней фокальной плоскости линзы. Таким образом, картина, наблюдаемая в фокальной плоскости линзы, даёт нам представление о спектре плоских волн падающего на линзу волнового поля. Поэтому можно утверждать, что с помощью линзы в оптике осуществляется пространственное преобразование Фурье.

2 Определение ширины щели

2.1 Определение ширины щели по изображению

Схема установки представлена на рис. 1. Щель переменной ширины D , снабжённая микрометрическим винтом, освещается параллельным пучком света, излучаемым лазером. Цена деления винта 10 мкм.

Увеличенное изображение щели с помощью линзы $Л1$ проецируется на экран $Э$. Величина изображения D_1 зависит от расстояний от линзы до предмета — a_1 и до изображения — b_1 , т. е. от увеличения Γ системы:

$$\Gamma = \frac{D_1}{D} = \frac{b_1}{a_1} \quad (1)$$

D , мкм	D_1 мм
50	2
100	4
150	6
200	7
250	8
300	10
350	12
400	13
450	14
500	15

Таблица 1: Таблица экспериментальных данных – зависимость $D_1(D)$

Снимем зависимость ширины изображения щели D_1 от D , результаты занесем в таблицу 1.

$F = 43$ мм – фокусное расстояние линзы Л1
 $L = 1339$ мм – расстояние от щели до экрана
 $a_1 = 50$ мм – расстояние от щели до линзы
 $b_1 = 1289$ мм – расстояние от линзы до экрана
 $D_0 = 630$ мкм – начало отсчета ширины щели

Используя измеренные величины a_1 и b_1 найдем увеличение линзы

$$\Gamma = \frac{b_1}{a_1} = 25.78$$

Решая уравнение

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{L - a_1} = \frac{1}{F}$$

получаем $a_1 \approx 44.48$ мм, откуда $b_1 \approx$ мм. Таким образом, можем найти увеличение линзы

$$\Gamma = \frac{L - a_1}{a_1} \approx 29.1$$

По экспериментальным данным построим график зависимости $D_1(D)$, по наклону графика и пересечению его с осью Ох определим увеличение линзы.

Увеличение линзы $\Gamma = 28,97$.

2.2 Определение ширины щели по спектру

Убрав линзу, можем наблюдать на экране спектр светового луча после прохождения через щель.

Изменяя ширину щели измерим расстояние между m -ми максимумами спектрального разложения. Результаты представлены в таблице 2.

По результатам эксперимента вычислим ширину щели, используя соотношение

$$\Delta X = \frac{X}{2m} = \frac{\lambda}{D_s} L \quad (2)$$

где $L = 1342$ мм – расстояние от щели до экрана, а λ – длина волны. Длина волны лазера He-Ne $\lambda = 632.8$ нм.

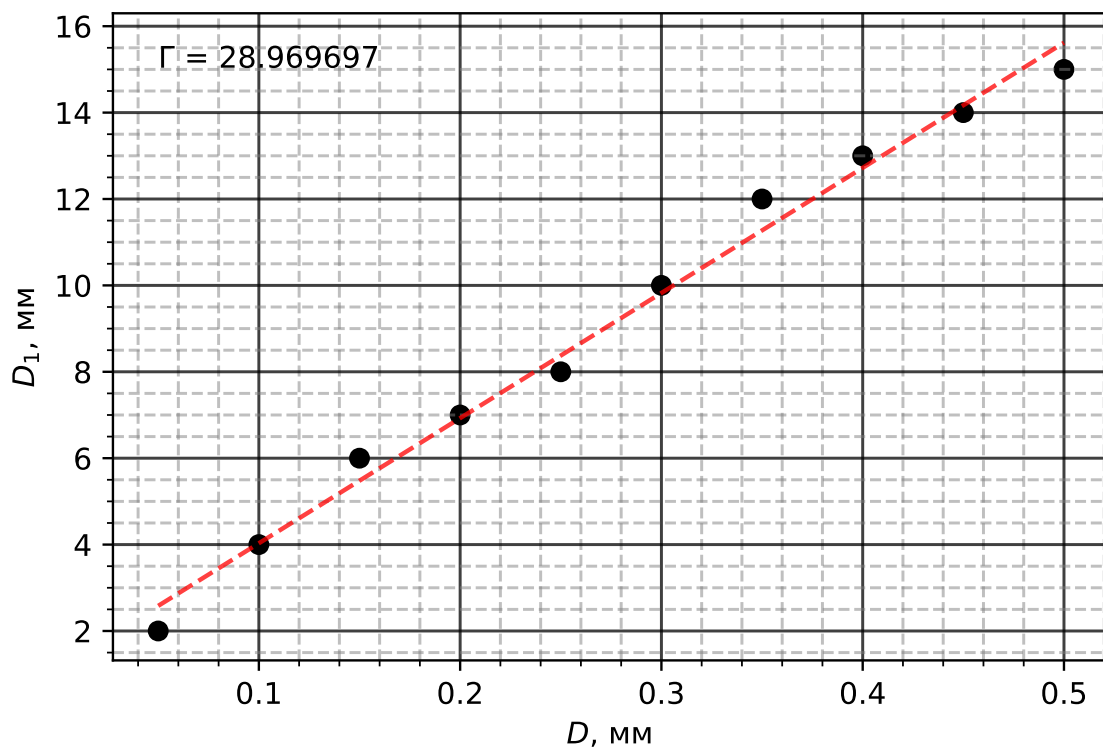


Рис. 2: Зависимость $D_1(D)$

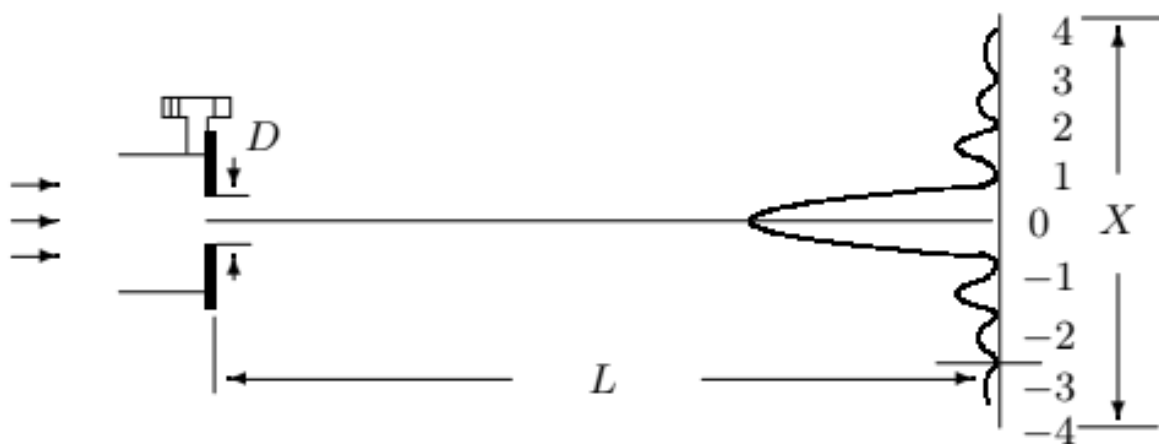


Рис. 3: Спектр щели

D , мкм	X , мм	m	D_s , мм
50	85	2	0,04
100	53	2	0,06
150	56	4	0,12
200	55	6	0,19
250	66	10	0,26
300	39	8	0,35
350	47	10	0,36
400	42	10	0,40
450	35	8	0,39

Таблица 2: Результаты второго эксперимента

3 Определение периода сеток

3.1 Определение периода сеток по спектру

Поставим кассету с двумерными решётками (сетками) вплотную к выходному окну лазера. Для каждой сетки измерим расстояние X между m -ми пиками и отметим m – количество пиков. Рассчитаем расстояния ΔX между соседними максимумами и определим период каждой решётки d , используя соотношения:

$$\Delta X = \frac{X}{m} = \frac{\lambda}{d} L \quad (3)$$

где $L = 1317$ мм – расстояние от кассеты до экрана. Результаты занесем в таблицу 3.

Решетка	X , мм	m	d , мм
1	147	2	0.02
2	99	2	0.03
3	50	2	0.07
4	37	3	0.14
5	28	3	0.18

Таблица 3: Дифракция без линзы

Решетка	X , мм	m	d , мм
2	210	1	0.03
3	104	1	0.06
4	105	2	0.12
5	79	2	0.16

Таблица 4: Дифракция с линзой

3.2 Определение периода сеток по увеличенному изображению спектра

Далее линзу Л2 с максимальным фокусом ($F_2 = 110$ мм) поставим на расстоянии $\simeq F_2$ от кассеты. В плоскости Ф линза Л2 даёт Фурье-образ – сетки её спектр, а короткофокусная линза Л3 ($F_3 = 25$ мм) создаёт на экране увеличенное изображение этого спектра. Измерим X и m для всех сеток, где это возможно. Так как экран достаточно удалён ($b_3 \gg a_3$), то практически $a_3 = F_3$, и расстояние между линзами $\simeq F_2 + F_3$. Результаты измерений представлены в таблице 4.

Вычислим увеличение линзы Л3: $\Gamma_3 = \frac{b_3}{a_3}$. $a_3 \approx F_3$, из геометрических соображений очевидно, что $b_3 = L - F_3 - 2F_1$. Тогда $b_3 = 1072$ мм, откуда $\Gamma_3 = 42.88$.

Тогда для нахождения периода сетки воспользуемся соотношением

$$\frac{\Delta X}{\Gamma_3} = \frac{\lambda}{d} F_2 \quad (4)$$

откуда

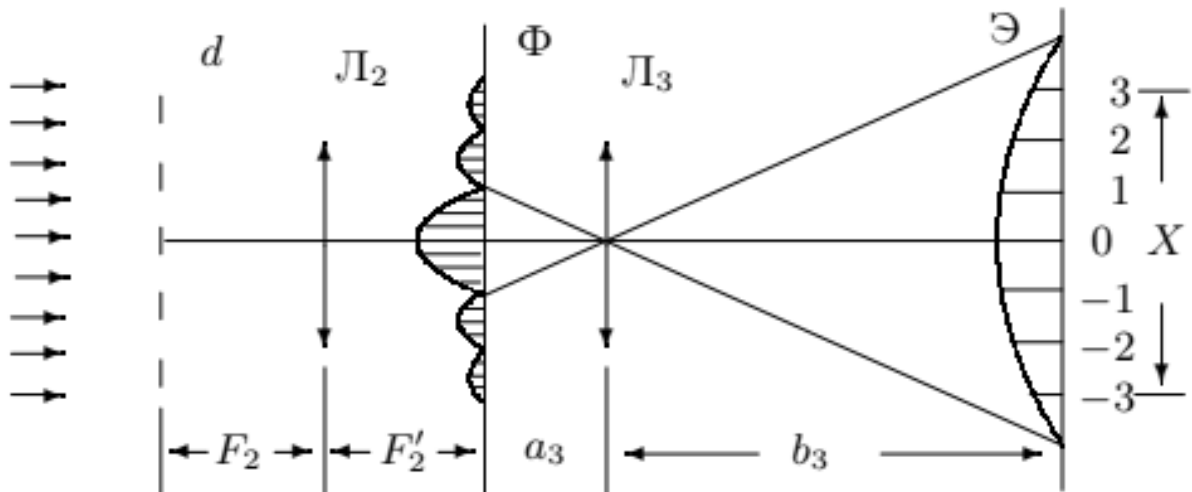


Рис. 4: text

Решетка	Y , мм	K	Δy , мм
1	102	4	3.58
2	72	4	2.53
3	36	4	1.26
4	27	6	0.63
5	21	6	0.49

Таблица 5: Мультиплицирование

$$d = \frac{2m\lambda\Gamma_3 F_2}{X}$$

4 Исследование мультиплицированного изображения щели

Снова поставим тубус со щелью к окну лазера и найдем на экране резкое изображение щели с помощью линзы Л2 ($F_2 = 110$ мм). В фокальной плоскости Ф линзы Л2 поставим кассету с сетками, которые будут «рассекать» Фурье-образ щели – осуществлять пространственную фильтрацию.

Снимем зависимость Y (расстояние между удалёнными изображениями щели и K (число промежутков между изображениями) от n (номер сетки) для фиксированной ширины входной щели. Данные занесем в таблицу 5.

$L = 1339$ мм – расстояние от щели до экрана
 $a_2 = 165$ мм – расстояние от щели до линзы
 $b_2 = 1174$ мм – расстояние от линзы до экрана
 $F_2 = 110$ мм – фокусное расстояние линзы
 $D = 340$ мм – ширина щели

Увеличение линзы $\Gamma_2 \approx 7.12$. Рассчитаем периоды Δy «фиктивных» решёток, которые дали бы такую же периодичность на экране: $\Delta y = \Delta Y / \Gamma_2$, где $\Delta Y = Y / K$. Результаты представлены в таблице 5.

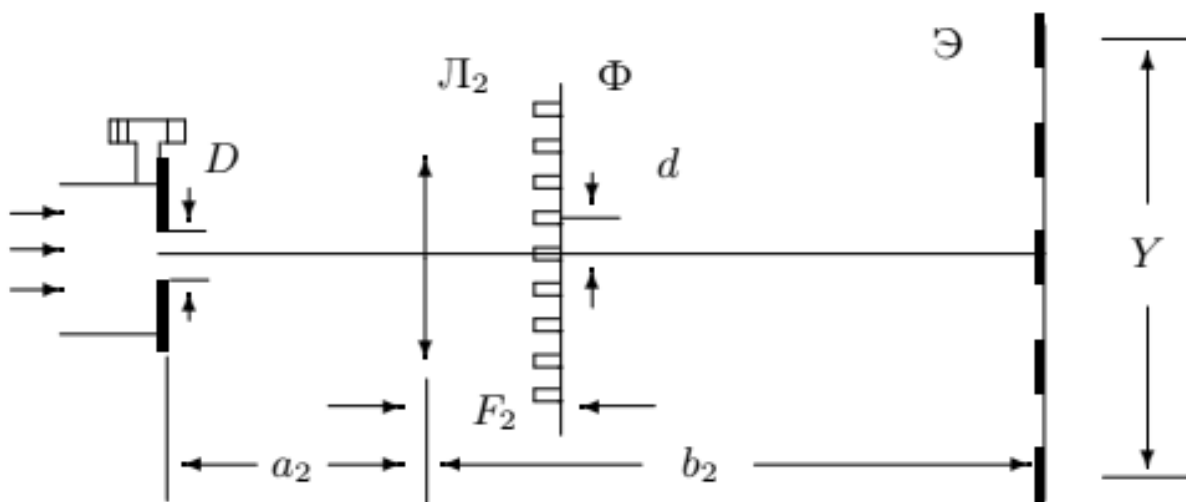


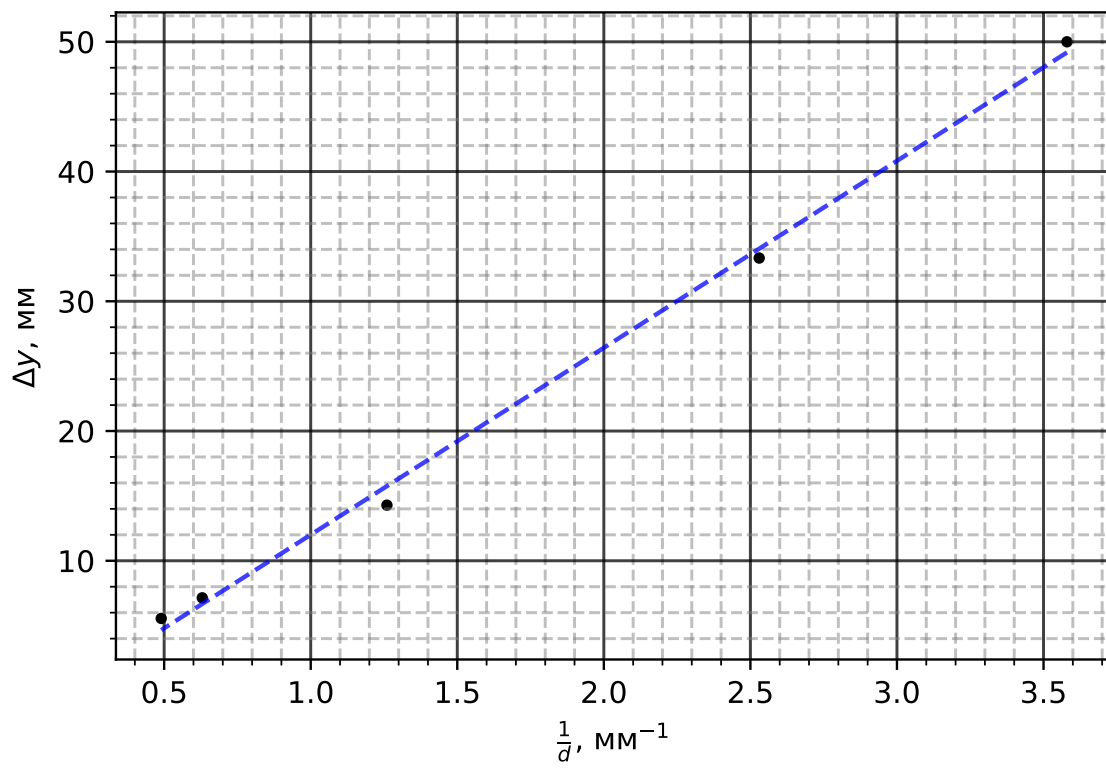
Рис. 5: Мультиплицирование

Δy , мм	3,58	2,53	1,26	0,63	0,49
d , мм	0,02	0,03	0,07	0,14	0,18

Построим график зависимости $\Delta y(\frac{1}{d})$, где d – период решетки, определенный по спектру. Зависимость должна быть линейной, поскольку

$$\Delta y = \lambda F_2 \frac{1}{d} \quad (5)$$

5 Вывод

Рис. 6: график зависимости $\Delta y(\frac{1}{d})$