

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4.3.4

## Метод преобразования Фурье в оптике

**Цель работы:** Исследовать явления дифракции Френеля 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.

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.

## Определение ширины щели

### Экспериментальная установка

Схема установки представлена на рис. 1. Щель переменной ширины  $D$ , снабжённая микрометрическим винтом  $B$ , освещается параллельным пучком света, излучаемым лазером (радиус кривизны фронта волны велик по сравнению с фокусными расстояниями используемых в схеме линз).

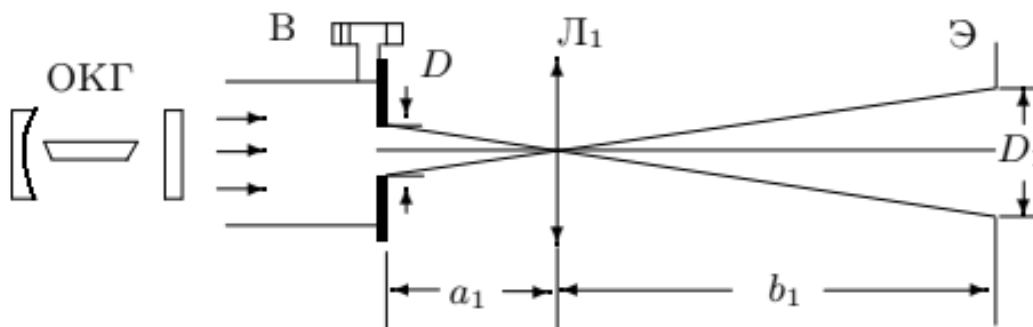


Рис. 1: Схема лабораторной установки для определения ширины щели

Увеличенное изображение щели с помощью линзы  $L_1$  проецируется на экран  $\mathcal{E}$ . Величина изображения  $D_1$  зависит от расстояний от линзы до предмета —  $a_1$  и до изображения —  $b_1$ , т. е. от увеличения  $\Gamma$  системы:

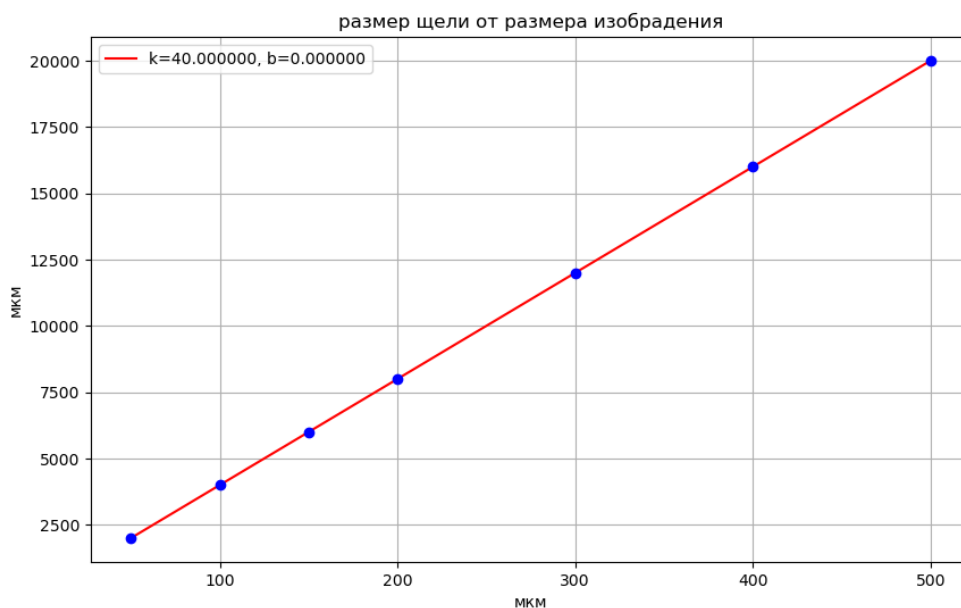
$$\Gamma = \frac{D_1}{D} = \frac{b_1}{a_1}$$

## Измерения

1. Соберем схему с Рис. 1, используя короткофокусную линзу  $F_3 = 3.8$  см.
2. Меняя ширину щели снимем зависимость размера изображения  $D1$  от ширины щели  $b$  и занесем результаты в Таблицу. Построим график этой зависимости и по нему найдем увеличение  $\Gamma_{graph} = 40 \pm 8$

$b$ , дел	$x$ , мм
5	2
10	4
15	6
20	8
30	12
40	16
50	20

Таблица 1: Ширина щели и размер изображения



1. Измерим расстояния  $a_1 = 38.5 \pm 1$  мм и  $b_1 = 122 \pm 1$  см. По ним вычислим  $\Gamma_{lens} = 32 \pm 1$

## Определение ширины щели по её спектру

### Экспериментальная установка

Убрав линзу, можно наблюдать на экране спектр щели (рис. ??)

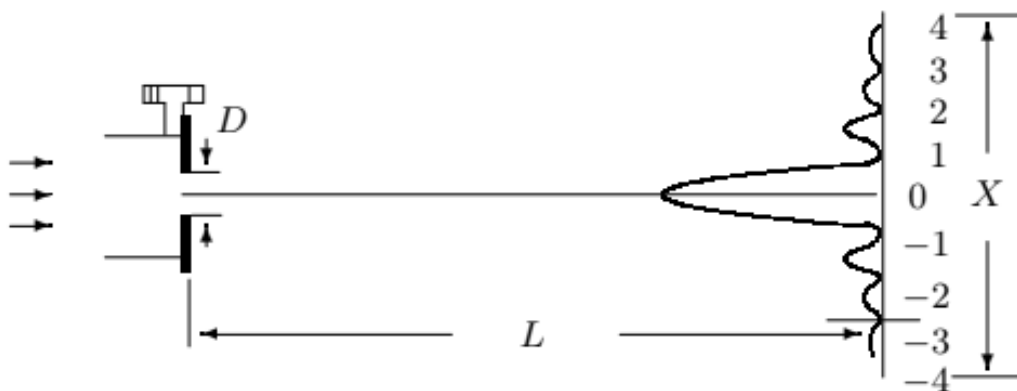
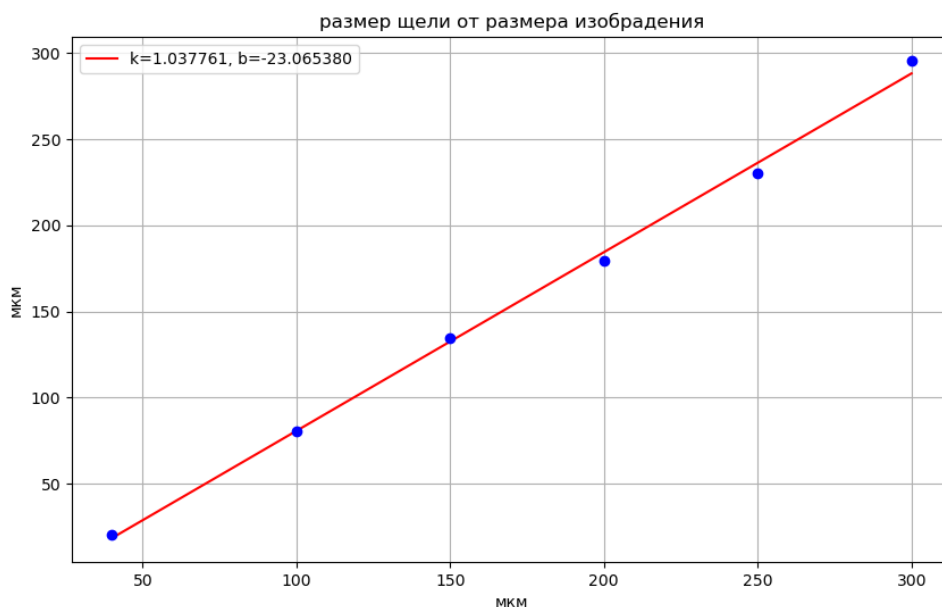


Рис. 2: Спектр щели

## Измерения

1. Получим на удалённом экране спектр щели (рис. 2). Меняя ширину щели проследим за изменением спектра на экране и оценим интервал, для которого можно наблюдать и измерять спектр.
2. Проведем измерения ширины  $m$  минимумов (центральный считается за 2) для диапазона такого диапазона ширины, как в пункте I. Занесем результаты в Таблицу 2.



$k = 1.03$  - cool

## Определение периода решёток

1. 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  $\Delta X$  между соседними максимумами и определим период каждой решётки  $d_{=f(\Delta X)}$ , используя соотношения:

$$\Delta X = \frac{X}{m} = \frac{\lambda}{d_c} L$$

2. Далее линзу  $\mathcal{L}_2$  с максимальным фокусом ( $F_2 = 11$  см) поставим на расстоянии  $\simeq F_2$  от кассеты. В плоскости  $\Phi$  линза  $\mathcal{L}_2$  даёт Фурье-образ - сетки её спектр, а короткофокусная линза  $\mathcal{L}_3$  ( $F_3 = 2,5$  см) создаёт на экране увеличенное изображение этого спектра (Рис ??). 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  $\simeq F_2 + F_3$ .

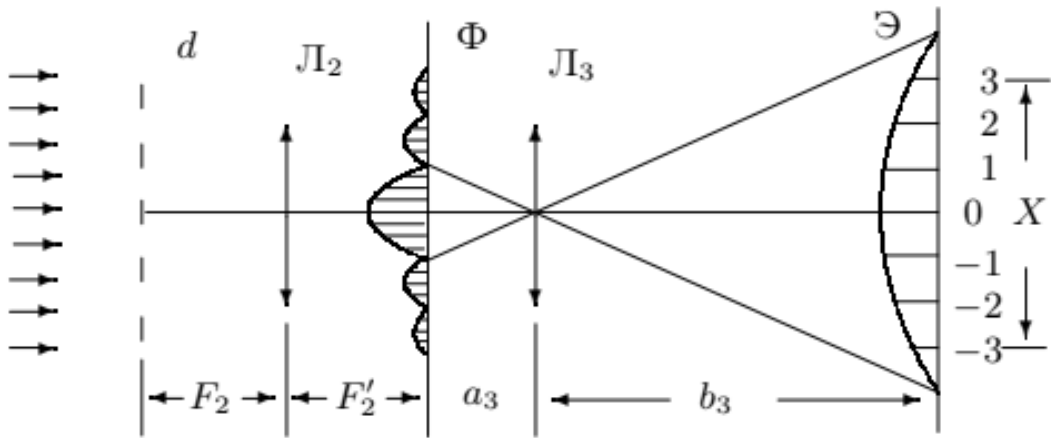


Рис. 3: Схема лабораторной установки для наблюдения увеличенной дифракции на решетках

3. Зная увеличение линзы 3 ( $\Gamma_3 = b_3/a_3$ ), можно рассчитать расстояние между максимумами  $\Delta x$  в плоскости  $\Phi$ , а затем период сетки  $d$  :

$$\Delta x = \frac{\Delta X}{\Gamma_3} = \frac{\lambda}{d_l} F_2$$

для 1 сетки:  $d_c = 119$ мкм

для 2 сетки:  $d_c = 48$ мкм

для 3 сетки:  $d_c = 24$ мкм

Для 3 сетки с линзой: 33.6 мкм Погрешность получившихся значений можно оценить как

$$\sigma d_l \approx \sqrt{\left(\frac{\Delta F_2}{F_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X}{X}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2} \approx 5\%$$

## Пространственное преобразование спектров

1. Снова поставим тубус со щелью к окну лазера (рис. 4) и найдем на Экране резкое изображение щели с помощью линзы  $\mathcal{L}_2$  ( $F_2 = 11$  см). В фокальной плоскости  $\Phi$  линзы  $\mathcal{L}_2$  поставим кассету с сетками, которые будут «рассекать» Фурье-образ щели - осуществлять пространственную фильтрацию. Подберем такую ширину входной

щели  $D$ , чтобы на экране можно было наблюдать мультиплицированное изображение для всех сеток. Чем уже щель, тем шире её Фурье-образ и тем легче рассеять его сетками.

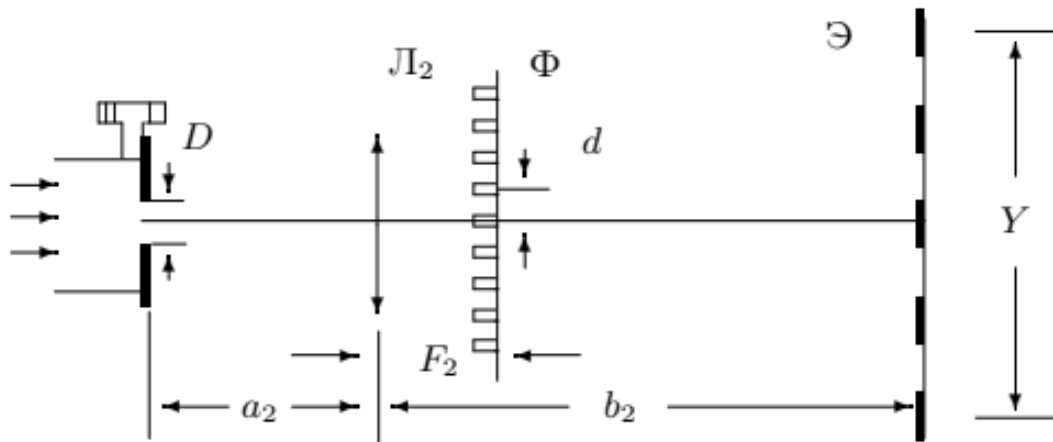


Рис. 4: Схема лабораторной установки рассеяния Фурье-образа

2. Снимем зависимость  $Y$  (расстояние между удалёнными изображениями щели и  $k$  (число промежутков между изображениями) от  $n$  (номер сетки) для фиксированной ширины входной щели.

Измерим расстояния  $a_2 = 11.8$  см и  $b_2 = 123$  см для расчёта увеличения  $\Gamma_2$ . Рассчитаем периоды  $\Delta y$  «фиктивных» решёток, которые дали бы такую же периодичность на экране:  $\Delta y = \Delta Y / \Gamma_2$ , где  $\Delta Y = Y / K$ .

Построим график  $\Delta y = f(1/d_c)$ , где  $d_c$  — периоды решёток, определённые по спектру: Зависимость должна быть линейной, поскольку

$$\frac{\lambda}{\Delta y} F_2 = d_c$$

## 1 Вывод

Мы наблюдали эффекты Фурье оптики такие как дифракция, рассеяние изображения и фильтрация Фурье-компонент изображения. Полученные нами результаты согласуются друг с другом: