

Работа 4.3.4

Метод преобразования Фурье в оптике

Малиновский Владимир

galqiwi@galqiwi.ru

Цель работы: Пронаблюдать дифракционные картины и происследовать их с точки зрения разложения разложения в ряд Фурье порождающего шаблона.

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

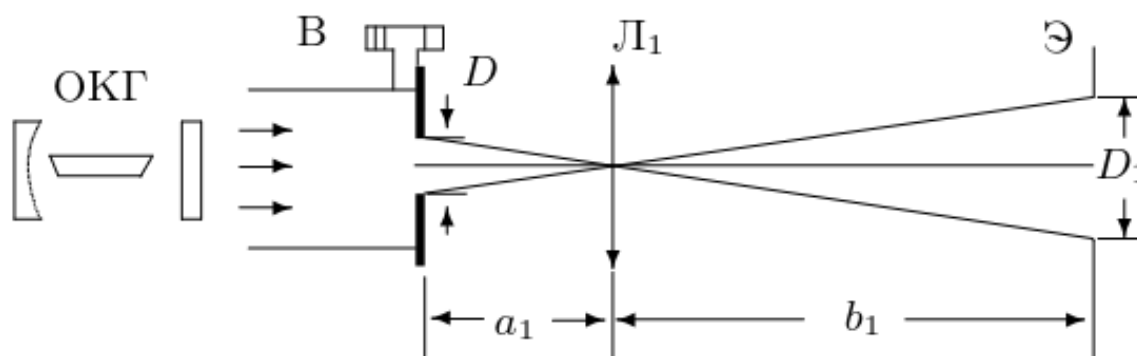
Теория

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 с помощью линзы

1-3

Включим лазер и соберем установку, установив вплотную к лазеру тубус с щелью и получив изображение щели на экране с помощью короткофокусной линзы.



4

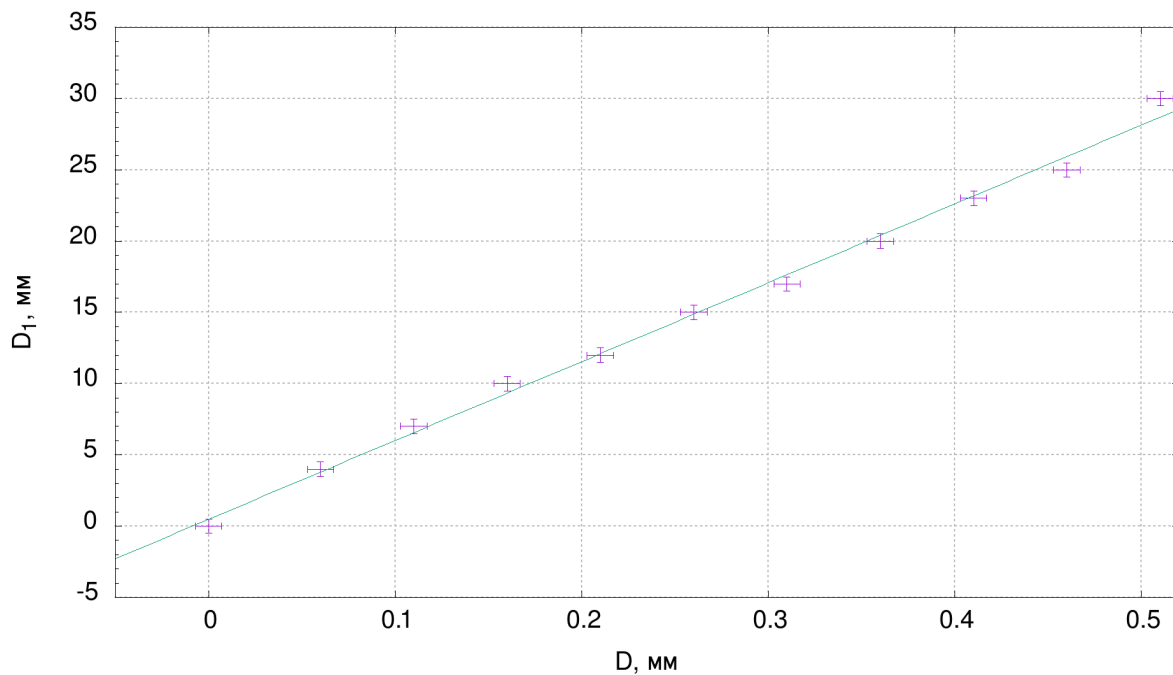
Определим начало отсчета щели по ее открытию. Получим значение $D_0 = (0.140 \pm 0.005)$ мм

5

Измерим ширину размера изображения D_1 в зависимости от ширины щели D . Изменение ширины щели будем вести в сторону увеличения, чтобы исключить влияние люфта.

| D_{raw} , МКМ | D , МКМ | D_1 , мм |
|------------------------|-----------|------------|
| 140 | 0 | 0.0 |
| 200 | 60 | 4.0 |
| 250 | 110 | 7.0 |
| 300 | 160 | 10.0 |
| 350 | 210 | 12.0 |
| 400 | 260 | 15.0 |
| 450 | 310 | 17.0 |
| 500 | 360 | 20.0 |
| 550 | 410 | 23.0 |
| 600 | 460 | 25.0 |
| 650 | 510 | 30.0 |

$$\Delta D_{\text{raw}} = 5 \text{ МКМ}, \Delta D = 7 \text{ МКМ}, \Delta D_1 = 0.5 \text{ мм}$$



Из графика получим увеличение системы

$$\Gamma = 55 \pm 2.$$

6

Далее посмотрим на значения значения $b_1 = (1308 \pm 8) \text{ мм}$ и $a_1 = \frac{Fb}{b-F} = (25.5 \pm 0.3) \text{ мм}$. Получим, что увеличение

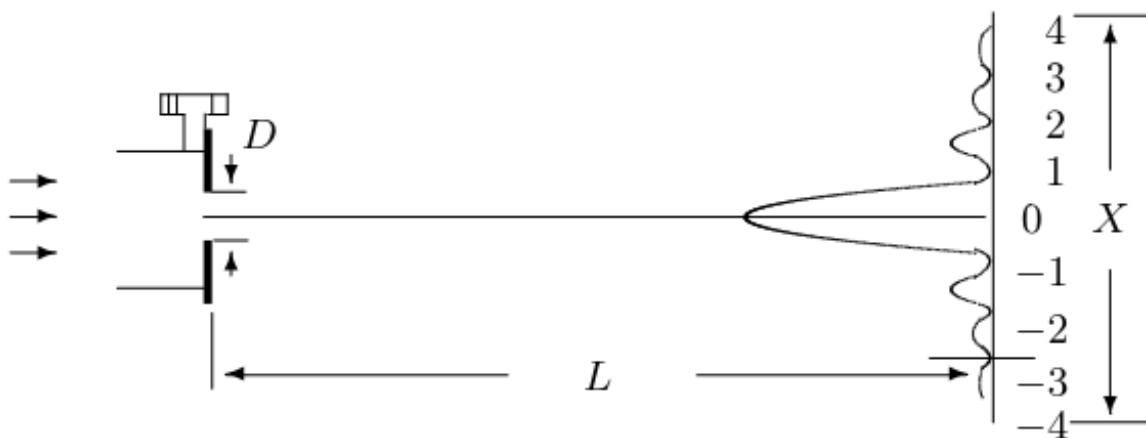
$$\Gamma = \frac{b}{a} = 51.3 \pm 0.9.$$

Это значение примерно совпадает с полученным ранее.

Определение ширины щели по ее спектру

8-10

Уберем линзу. Получим на удаленном экране спектр щели. Меняя ширину щели, проследим за изменением спектра на экране.



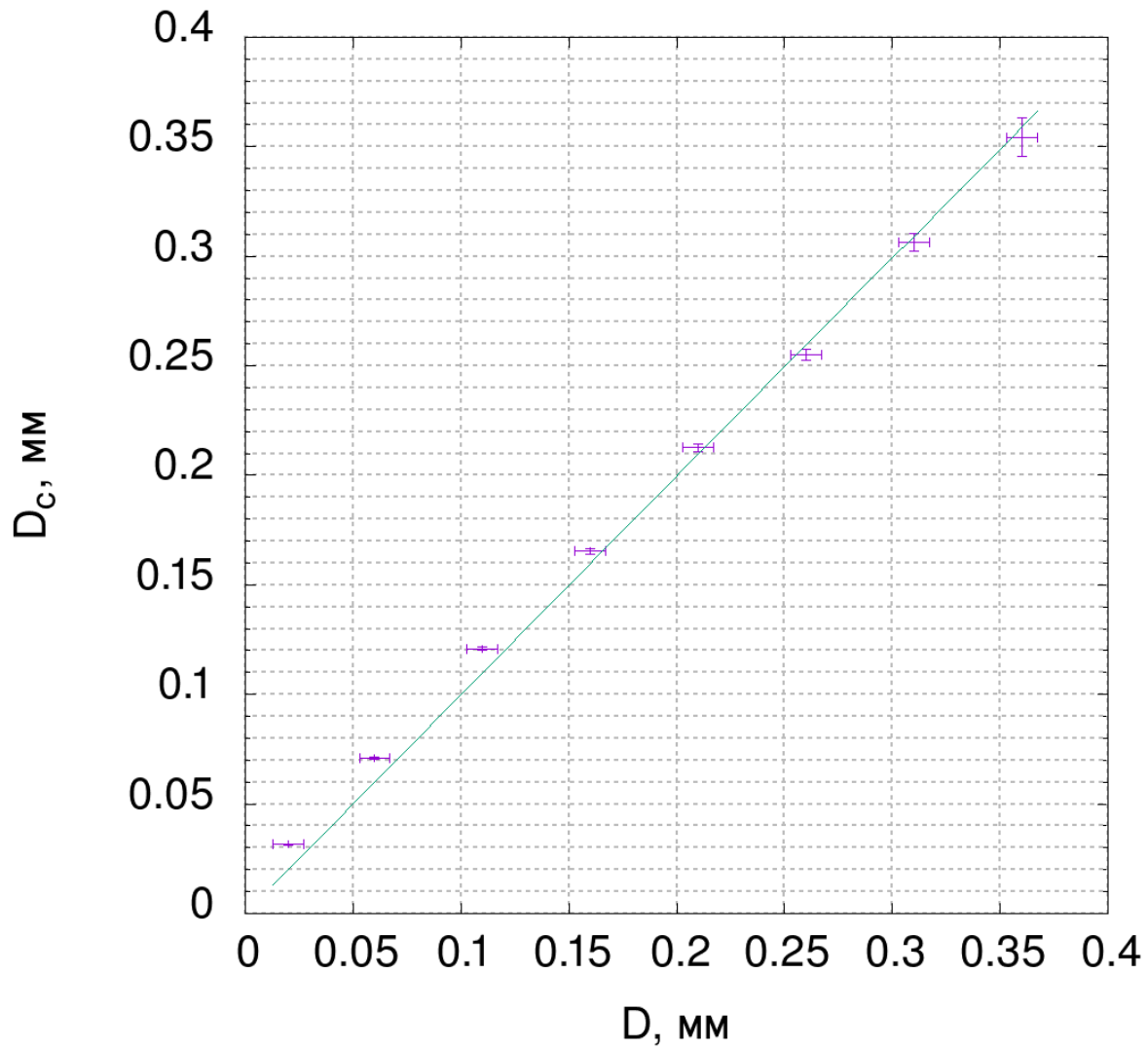
Для различных значений D , измерим расстояние X_m между m минимумами. Зная расстояние $L = (1332 \pm 8)$ мм от щели до экрана, получим значение ширины щели

$$D_c = \frac{\lambda L}{X_m / (m + 1)},$$

где $\lambda = 532$ нм.

| D_{raw} , МКМ | D , МКМ | m | X_m , мм | D_c , МКМ | ΔD_c , МКМ |
|------------------------|-----------|------|------------|-------------|--------------------|
| 160 | 20 | 3.0 | 90.0 | 31.49 | 0.17 |
| 200 | 60 | 7.0 | 80.0 | 70.9 | 0.4 |
| 250 | 110 | 13.0 | 82.0 | 121.0 | 0.7 |
| 300 | 160 | 13.0 | 60.0 | 165.3 | 1.4 |
| 350 | 210 | 17.0 | 60.0 | 212.6 | 1.8 |
| 400 | 260 | 17.0 | 50.0 | 255 | 3 |
| 450 | 310 | 15.0 | 37.0 | 306 | 4 |
| 500 | 360 | 9.0 | 20.0 | 354 | 9 |

$$\Delta D_{\text{raw}} = 5 \text{ МКМ}, \Delta D = 7 \text{ МКМ}, \Delta X_m = 0.5 \text{ мм}$$



Из графика следует, что

$$\frac{D_c}{D} = 1.00 \pm 0.01$$

Определение периода по спектру на удаленном экране

1-6

Поставим кассету в двумерными решетками вплотную к выходному окну лазера и измерим расстояние X_m между m максимумами. Зная расстояние до экрана $L = (1300 \pm 8)$ мм, получим период решетки

$$d = \frac{\lambda L}{X_m/m}.$$

| #решетки | m | X_m , мм | X , мм | ΔX , мм | d , мкм | Δd , мкм |
|----------|------|------------|----------|-----------------|-----------|------------------|
| 1 | 5.0 | 175.0 | 35.0 | 0.1 | 19.76 | 0.06 |
| 2 | 7.0 | 165.0 | 23.57 | 0.07 | 29.34 | 0.09 |
| 3 | 16.0 | 185.0 | 11.56 | 0.03 | 59.81 | 0.16 |
| 4 | 31.0 | 185.0 | 5.968 | 0.016 | 115.9 | 0.3 |
| 5 | 43.0 | 183.0 | 4.256 | 0.012 | 162.5 | 0.4 |

$$\Delta X_m = 0.5 \text{ мм}$$

Мультиплицирование

1-2

Поставим обратно тубус с щелью к окну лазера. Найдём на экране резкое щели с помощью линзы Л2. Подберём такое значение ширины щели, чтобы на экране можно было наблюдать мультиплицированное изображение сеток.

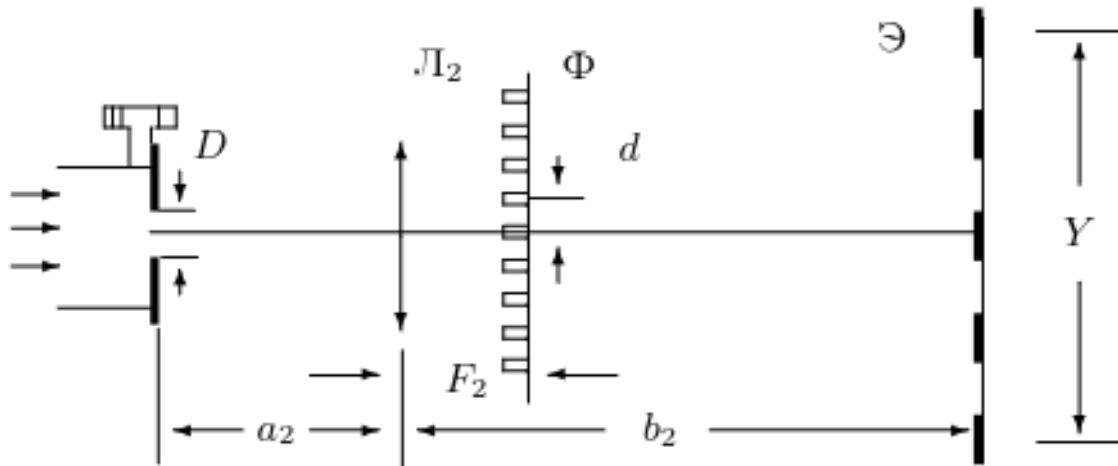


Рис. 8. Схема для наблюдения мультиплицирования

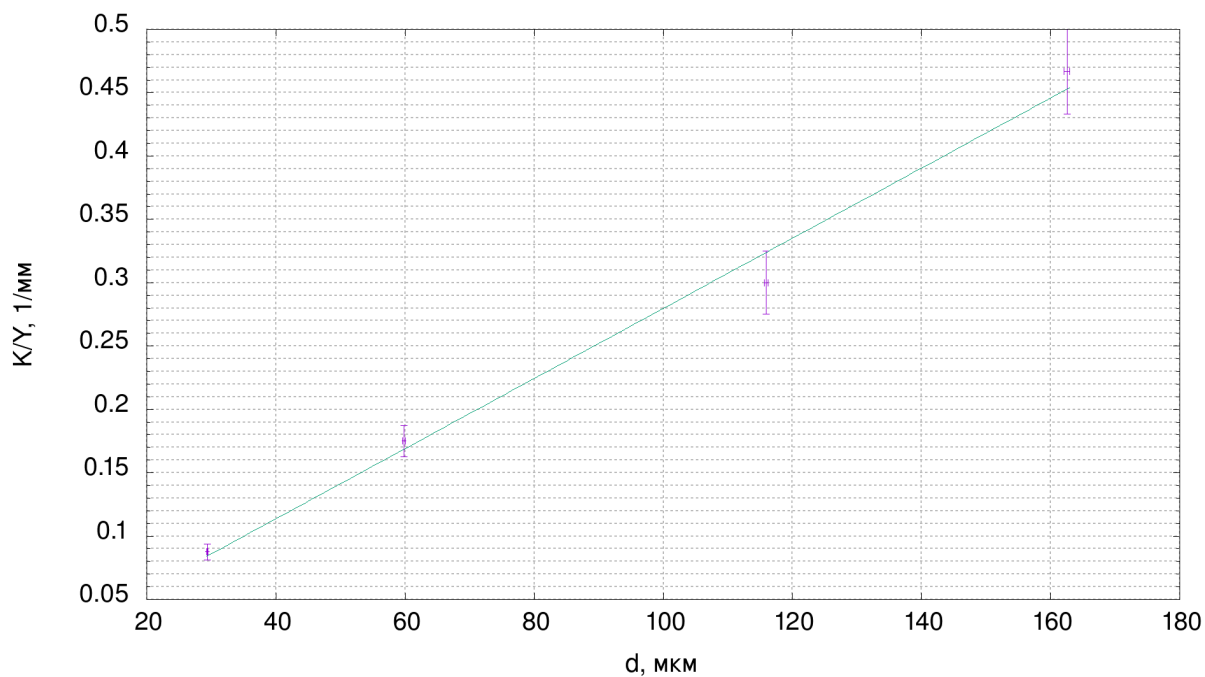
3-4

Получим зависимость расстояния Y между K изображениями щели от номера решетки.

| #решетки | Y , мм | K | K/Y , 1/мм | $\Delta K/Y$, 1/мм | d , мкм | Δd , мкм |
|----------|----------|-----|--------------|---------------------|-----------|------------------|
| 2.0 | 80.0 | 7.0 | 0.088 | 0.006 | 29.34 | 0.09 |
| 3.0 | 40.0 | 7.0 | 0.175 | 0.013 | 59.81 | 0.16 |
| 4.0 | 20.0 | 6.0 | 0.30 | 0.03 | 115.9 | 0.3 |
| 5.0 | 15.0 | 7.0 | 0.47 | 0.03 | 162.5 | 0.4 |

$$\Delta Y = 0.5 \text{ мм}$$

Проверим линейность зависимости K/Y от размера решетки.



Как видно, зависимость линейная. Это подтверждает полученные в прошлом пункте результаты.

Вывод

Мы научились исследовать параметры паттернов через порождающие дифракционные картины с помощью разложения в ряд Фурье. В частности мы проанализировали поведение щели и двумерных решеток. В экспериментах мы получили различные числовые значения, подтверждающие друг друга.