

# Преобразование Фурье в оптике\*

Иван Едигарьев

Московский Физико-Технический Институт  
Факультет Общей и Прикладной Физики, 526т

В работе предлагается: А) определить размеры щели сначала по увеличенному с помощью линзы изображению, затем — по спектру на экране; Б) определить периоды сеток сначала по спектру, затем по увеличенному изображению спектра; В) исследовать изображение щели, мультиплицированное с помощью сеток; Г) проследить влияние щелевой диафрагмы, расположенной в фурье-плоскости, на изображение сетки.

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

## I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЩЕЛИ

### I. Определение ширины щели с помощью линзы

1. Включим в сеть блок питания лазера. Обратим внимание на распределение интенсивности излучения лазера на экране: на его сложную структуру, обусловленную возбуждением различных типов колебаний в резонаторе лазера.
2. Установим тубус со щелью вплотную к выходному окну лазера (см. рис. 1). Настройку системы следует вести, наблюдая за пятном света на листе бумаги.

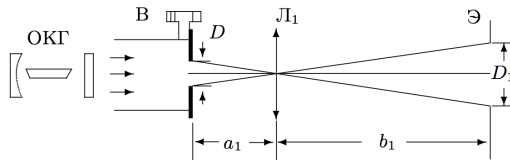


Рис. 1. Схема для определения ширины щели с помощью линзы

3. С помощью короткофокусной линзы  $L_1$  ( $F_1 \simeq 3-4$  см) получим на экране Э увеличенное изображение щели.
4. Определим начало отсчёта ширины щели по её открытию, т. к. ноль может быть сбит. Цена деления винта — 10 мкм.

$$h_0 = 38 \text{ дел.}$$

5. Меняя ширину щели от 50 до 500 мкм (5–50 делений от нового нуля), снимем зависимость размера изображения  $D_1$  от ширины щели  $D$ . Изменение ширины щели следует вести в сторону увеличения, чтобы исключить влияние люфта (свободного хода винта).

6. Измерим расстояния  $a_1$  и  $b_1$  для определения увеличения Г системы. Погрешность этих измерений велика (особенно для малого расстояния  $a_1$ ), поэтому, измерив дополнительно  $L = a_1 + b_1$  и зная  $F_1$ , можно по формуле линзы рассчитать  $a_1$  и  $b_1$  и сравнить с измеренными. Для удалённого экрана расчёт даёт обычно  $a_1 \simeq F_1$ .

$$a_1 = (43 \pm 5) \text{ mm}$$

$$b_1 = (120 \pm 1) \text{ cm}$$

$$L = (124 \pm 1) \text{ cm}$$

$$F = 43 \text{ mm}$$

$$a_2 = FL/b_1 = (44 \pm 2) \text{ mm}$$

$$a = (43 \pm 3) \text{ mm} \simeq F$$

7. Зная увеличение линзы и размер изображения, рассчитаем ширину входной щели  $D_{\text{л}}$  («л» — с применением линзы).

### II. Определение ширины щели по её спектру

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 — от 40 до (130-140) дел.

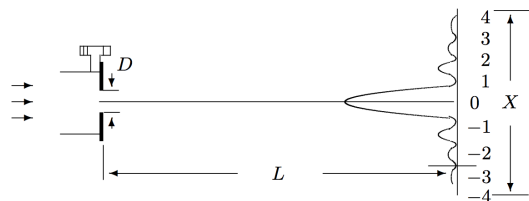


Рис. 2. Схема для определения ширины щели по спектру

2. Измерим ширину спектра для самой маленькой щели. Для большей точности следует измерять

\* 4.3.4

расстояние  $X$  между удалёнными от центра минимумами, расположенными симметрично относительно центра картины, и отмечать порядок минимума  $m$  (например, 1-й, 2-й, 3-й, ..., начиная от центра).

Проведём серию измерений  $X(m)$ , меняя ширину щели в тех же пределах, что и в п. 5.

Измерим расстояние  $L$  от щели до экрана.

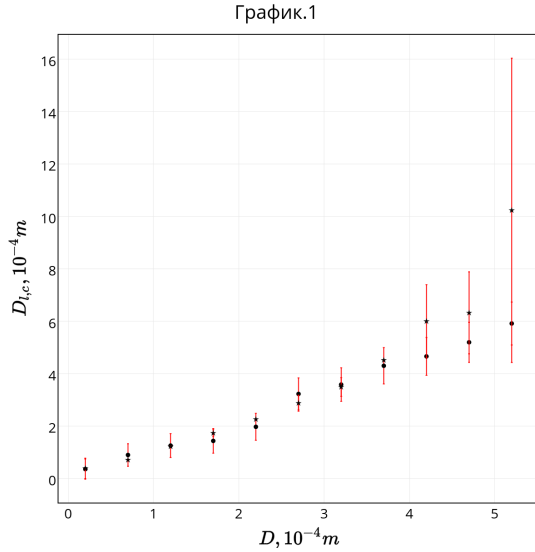
$$L = (124 \pm 1) \text{ см}$$

- По результатам измерений спектра рассчитаем ширину щели  $D_c$  («с» — по спектру), используя соотношения

$$\Delta X = \frac{X}{2m} = \frac{\lambda}{D_c} L$$

Длина волны Hg лазера  $\lambda = 5461 \text{ \AA}$ .

Построим на одном листе графики  $D_{\text{л}} = f(D)$  и  $D_c = f(D)$ .



## II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА РЕШЁТОК

### I. Определение периода по спектру на удалённом экране

- Поставим кассету с двумерными решётками (сетками) вплотную к выходному окну лазера. В окошке под отверстием с сеткой виден № сетки. Вращением наружного кольца кассеты можно менять сетки.
- Для каждой сетки измерим расстояние  $X$  между  $m$ -ми максимумами и отметим  $m$  — порядок максимума.

Измерим расстояние  $L$  от кассеты до экрана.

$$L = (120 \pm 2) \text{ см}$$

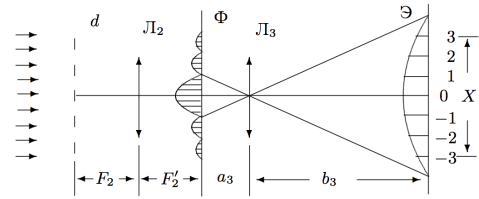


Рис. 3. Схема определения периода решётки по увеличенному изображению спектра

- Рассчитаем расстояния  $\Delta X$  между соседними максимумами и определим период каждой решётки  $d_c = f(N^{\circ})$ , используя соотношения

$$\Delta X = \frac{X}{2m} = \frac{\lambda}{d_c} F$$

Для крупных решёток спектры промерить не удастся — они слишком узки. Их можно увеличить с помощью системы линз.

### I. Определение периода решёток по увеличенному изображению спектра

- Линзу  $L_2$  с максимальным фокусом ( $F_2 \simeq 10 \text{ см}$ ) поставим на расстоянии  $\simeq F_2$  от кассеты. В плоскости  $\Phi$  линза  $L_2$  даёт фурье-образ сетки — её спектр, а короткофокусная линза  $L_3$  ( $F_3 \simeq 2,5 \text{ см}$ ) создаёт на экране увеличенное изображение этого спектра.

Так как экран достаточно удалён ( $b_3 \gg a_3$ ), то практически  $a_3 = F_3$ , и расстояние между линзами  $\simeq F_2 + F_3$ .

- Измерим  $X$  и  $m$  для всех сеток, где это возможно.
- Зная увеличение линзы  $L_3$  ( $\Gamma_3 = b_3/a_3$ ), можно рассчитать расстояние между максимумами  $\Delta x$  в плоскости  $\Phi$ , а затем период сетки  $d_{\text{л}}$ :

$$\Delta x = \frac{\Delta X}{\Gamma_3} = \frac{\lambda}{d_{\text{л}}} F_2.$$

## III. МУЛЬТИПЛИЦИРОВАНИЕ

- Снова поставим тубус со щелью к окну лазера (рис. 4) и найдём на экране резкое изображение щели с помощью линзы  $L_2$  ( $F_2 \simeq 10 \text{ см}$ ).

В фокальной плоскости  $\Phi$  линзы  $L_2$  поставим кассету с сетками, которые будут «рассекать» фурье-образ щели — осуществлять пространственную фильтрацию.

- Подберём такую ширину входной щели  $D$ , чтобы на экране можно было наблюдать мультиплицированное изображение для всех сеток. Чем

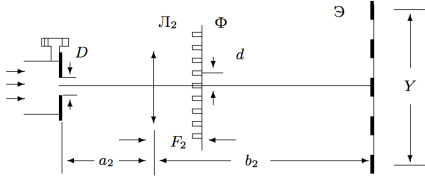


Рис. 4. Схема для наблюдения мультиплицирования

уже щель, тем шире её фурье-образ и тем легче расщепить его сетками.

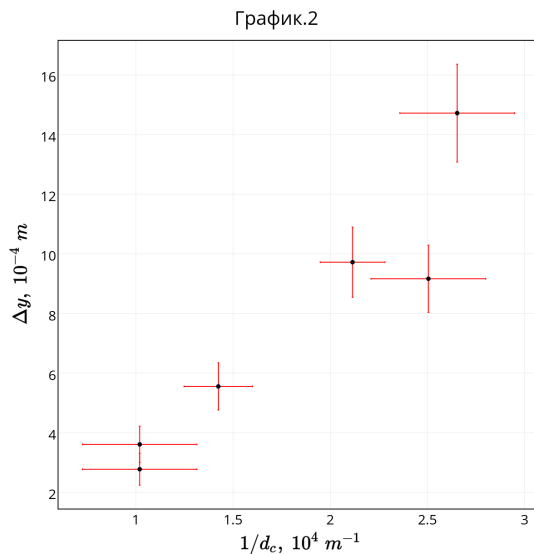
3. Снимем зависимость  $Y$  (расстояние между удалёнными изображениями щели) и  $K$  (число промежутков между изображениями) от  $N$  (номер сетки) для фиксированной ширины входной щели.

Запишем величины  $D$  и  $F_2$ . Измерим расстояния  $a_2$  и  $b_2$  для расчёта увеличения  $\Gamma_2$ .

4. 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

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



5. Зная размер щели  $D$ , построим в масштабе первичное изображение (спектр щели) и отложим на нём величины  $d(N)$  — периоды самой плотной и самой редкой из использованных решёток.

#### IV. ВЛИЯНИЕ ЩЕЛЕВОЙ ДИАФРАГМЫ НА ИЗОБРАЖЕНИЕ СЕТКИ

Поставим на место щели (рис. 4) кассету с сетками и сфокусируем на экран изображение сетки. Убедимся, что изображение остаётся резким при смене сеток.

Поставим в плоскости  $\Phi$  вертикальную щель и проследим за изменением изображения на экране при сужении щели. Проведем то же для щели, ориентированной горизонтально и под углом  $45^\circ$  к вертикали.