

## ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

**Цель работы:** определить постоянную дифракционной решетки и длину волны неизвестного светофильтра.

**Приборы и принадлежности:** источник света, щель, два светофильтра (с известной и неизвестной длиной волны), дифракционная решетка, линейка.

**Объект измерений:** дифракционная картина.

**Средства измерений:** линейки.

### 1. Теоретическая часть

Свет проявляет себя как волна в различных ситуациях, связанных с его распространением и взаимодействием с окружающей средой. Одним из таких проявлений является дифракция.

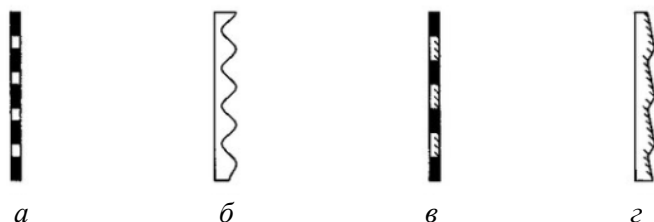
**Дифракция** – это явление отклонения волн от прямолинейного распространения при прохождении через малые отверстия или вблизи резких границ препятствий.

Дифракцию можно наблюдать от узкой щели, игольного ушка, тонких волокон ткани или волоса, на кромке лезвия или CD-диске, а также при помощи специальных оптических устройств, например, дифракционной решетки.

В общем случае **дифракционная решетка** представляет собой периодическую систему из большого числа микроскопических штрихов, нанесенных на плоскую или вогнутую поверхность. Различают решетки пропускающие и отражающие, амплитудные и фазовые (рис. 1).

В пропускающих решетках непрозрачные параллельные штрихи расположены на прозрачном экране на одинаковом расстоянии друг от друга, в отражающих – штрихи нанесены на зеркальную поверхность. В амплитудных решетках периодически меняется коэффициент пропускания (или отражения), то есть непрозрачный штрих чередуется с прозрачной (или отражающей) щелью, что вызывает изменение амплитуды падающей волны.

У фазовых решеток штрихи имеют специальную форму, отличную от прямоугольной, что приводит к периодическому изменению фазы световой волны.

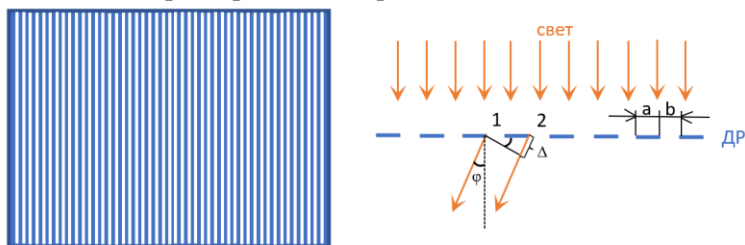


**Рис. 1.** Виды дифракционных решеток:

*а* – амплитудная пропускающая, *б* – фазовая пропускающая,  
*в* – амплитудная отражающая, *г* – фазовая отражающая

В настоящей работе используется плоская амплитудная пропускающая дифракционная решетка (далее – дифракционная решетка, ДР). Параметрами дифракционной решетки являются:  $a$  – ширина непрозрачных штрихов,  $b$  – ширина прозрачных щелей, расстояние  $d = a + b$ , которое называется **периодом** или **постоянной дифракционной решетки** (рис. 2). Постоянную дифракционной решетки иначе можно определить как расстояние между серединами соседних щелей.

Если известно число штрихов решетки  $N$ , приходящихся на 1 мм длины, то период решетки определяют как  $d = 1/N$  мм.



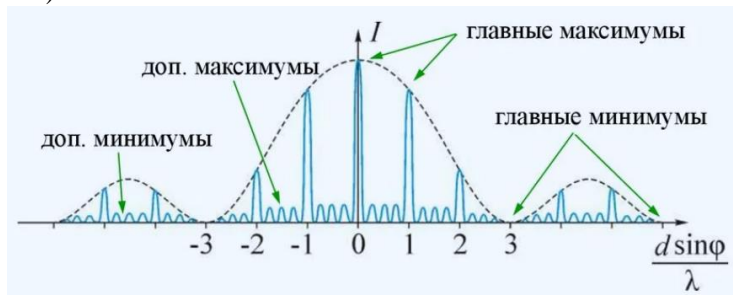
**Рис. 2.** Дифракционная решетка

Главное свойство дифракционной решетки заключается в отклонении падающего на нее пучка лучей на разные углы в зависимости от длины волны света.

Рассмотрим случай, когда параллельный пучок света с длиной волны  $\lambda$  падает на решетку нормально (рис. 2). При этом на достаточно большом расстоянии от решетки можно наблюдать дифракционную картину; картину можно видеть и на конечном расстоянии с помощью выпуклой линзы на плоском экране, помещенном в ее фокусе. В этом случае говорят о дифракции Фраунгофера.

Из-за малой ширины щелей каждую щель можно представить как вторичный точечный источник сферических\* волн, распространяющихся во всех направлениях с одинаковой интенсивностью. Эти волны от  $N$  когерентных источников интерферируют между собой. На рис. 2 показаны только два из множества пучков лучей, идущих от двух соседних щелей 1 и 2 под углом  $\varphi$  и продифрагировавших в этом направлении.

В результате такой взаимной многолучевой интерференции от  $N$  щелей решетки распределение интенсивности света в дифракционной картине будет представлять собой чередование главных дифракционных максимумов, между которыми располагаются побочные дифракционные максимумы и минимумы (рис. 3).



**Рис. 3.** Распределение интенсивности света на экране при дифракции на пяти щелях ( $d/b = 3$ )

**Главные максимумы.** Они образуются, когда для всех щелей решетки выполняется условия максимума интерференции. В этом случае разность хода  $\Delta$  лучей от соседних щелей в некоторой

\* На самом деле цилиндрических волн.

точке экрана равна целому числу длин волн (**условие главных максимумов**):

$$d \sin \varphi = m\lambda, \quad (1)$$

где  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$  – порядок главного максимума (порядок дифракции).

Максимум 0-го порядка ( $m = 0$ ) – один, он находится по центру дифракционной картины (угол дифракции  $\varphi = 0$ ). Остальных максимумов по два.

Максимальный наблюдаемый порядок главного максимума (порядок дифракции) определяется из условия  $\sin \varphi_{\max} = 1$ :

$$m_{\max} = \frac{d}{\lambda}.$$

**Главные минимумы.** Условие главных минимумов для решетки с шириной щели  $b$ :

$$b \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2},$$

где  $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Это условие соответствует минимуму интерференции от одной щели, поэтому не зависит от числа щелей в дифракционной решетке.

**Добавочные минимумы.** Между двумя любыми главными дифракционными максимумами находится  $(N - 1)$  добавочных минимумов. Условие их образования в дифракционной картине от  $N$  щелей записывается в виде:

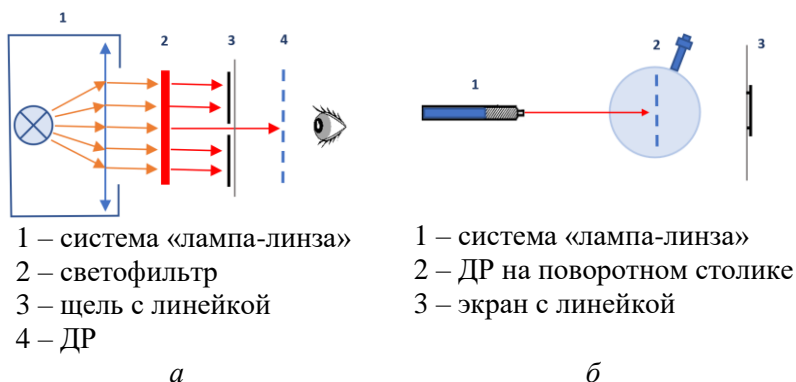
$$d \sin \varphi = \pm \frac{k}{N} \lambda,$$

где  $k$  – любое целое число, кроме  $N, 2N, 3N$  и т.д., то есть не кратное  $N$ . В этих направлениях  $\varphi$  колебания от отдельных щелей решетки взаимно гасят друг друга.

**Добавочные максимумы.** Между добавочными минимумами располагаются  $(N - 2)$  добавочных максимума, интенсивность которых значительно сильно меньше интенсивности главных максимумов: она не превышает  $1/22$  интенсивности ближайшего главного максимума. Эти добавочные максимумы соответствуют усилению излучения от одной части щелей, но гашению его излучением от другой части.

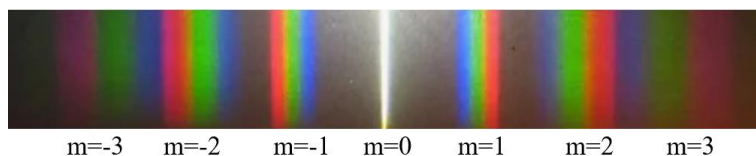
Чем больше щелей в решетке, тем больше добавочных минимумов будет образовываться между соседними главными максимумами, поэтому главные максимумы будут более интенсивными и острыми, а добавочные максимумы станут практически неразличимыми.

Дифракционную картину можно получать, используя разные источники света (освещенную щель или лазер), и наблюдать как глазом (выступает в роли линзы, формируя мнимое изображение), так и на экране (рис. 4).



**Рис. 4.** Схема наблюдения дифракции с источниками:  
*а* – лампа; *б* – лазер

При направлении на дифракционную решетку белого света все максимумы, кроме нулевого, раскладываются в спектр (рис. 5).



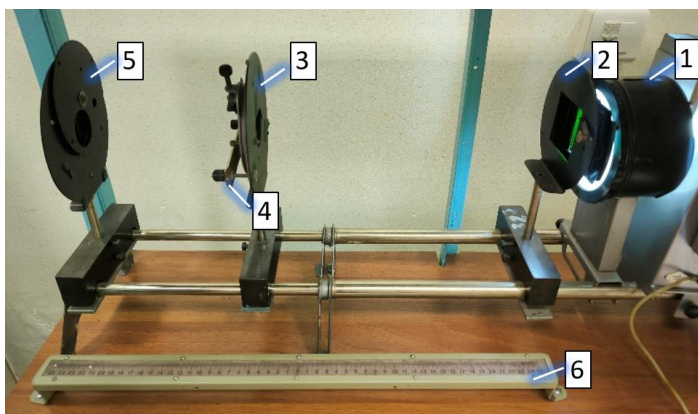
**Рис. 5.** Спектры дифракционной решетки

С увеличением порядка дифракции спектры становятся шире и начинают накладываться друг на друга. При использовании светофильтра в дифракционной картине остаются только максимумы, соответствующие длине волны пропускания фильтра.

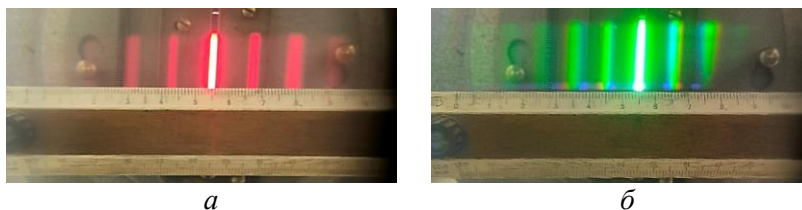
## 2. Методика проведения измерений и описание установки

В данной лабораторной работе дифракция наблюдается по схеме согласно рис. 4, а. Установка выглядит как показано на рис. 6 и состоит из следующих элементов:

- 1 – система освещения «лампа-линза»,
- 2 – двухпозиционный светофильтр «красный/зеленый»,
- 3 – щель,
- 4 – линейка для измерения расстояний на дифракционной картине,
- 5 – дифракционная решетка,
- 6 – линейка для измерения между элементами системы.



**Рис. 6.** Фотография установки



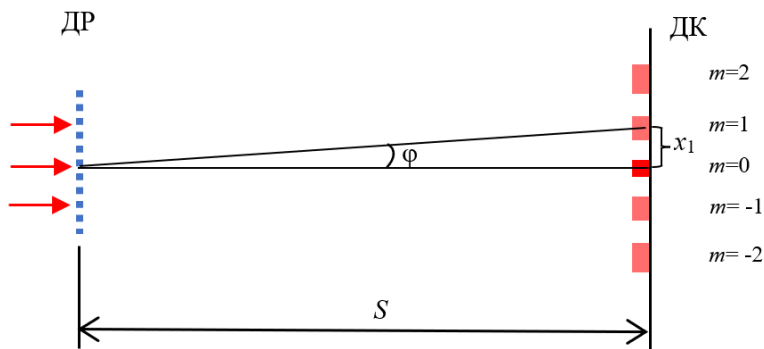
**Рис. 7.** Дифракционная картина:  
*а* – красный светофильтр; *б* – зеленый светофильтр

Зная постоянную дифракционной решетки  $d$ , легко измерить любую длину волны в спектре дифракционной решетки. И наоборот, если известна длина волны падающего на решетку света, можно вычислить период решетки, основываясь на формуле главных максимумов (1):

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \varphi}.$$

При наблюдении дифракционной картины на значительном расстоянии от дифракционной решетки углы дифракции для небольших порядков спектров будут малы. Поэтому можно считать, что:

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{x_m}{S}.$$



**Рис. 8.** Схема дифракционных максимумов

Тогда формула для периода дифракционной решетки примет вид:

$$d = \frac{m\lambda S}{x_m}, \quad (2)$$

где  $m$  – порядок максимума,  $\lambda$  – длина волны,  $S$  – расстояние от ДР до дифракционной картины (ДК),  $x_m$  – расстояние между центральным максимумом и максимумом  $m$ -го порядка.

Определить же длину волны можно по формуле:

$$\lambda = \frac{x_m d}{mS}. \quad (3)$$

### 3. Порядок выполнения работы

#### а) проведение измерений в лаборатории

1. Установите элементы на оптической скамье, как показано на рис. 6.
2. Введите красный светофильтр **2** с известной длиной волны ( $\lambda_{кр} = 650 \text{ нм}$ ) и включите источник света.
3. Передвигая дифракционную решетку **5**, добейтесь четкого изображения дифракционной картины в области диафрагмы с щелью **3**.
4. Измерьте расстояние  $S$  от ДР до щели.
5. Измерьте расстояния  $x_m$  от центрального максимума ( $m = 0$ ) до 1-го, 2-го, 3-го и 4-го главных максимумов слева и справа. Занесите результаты измерения в таблицу 1.
6. Смените светофильтр **2** на зеленый и повторите измерения п. 5. Занесите результаты измерения в таблицу 1.
7. Покажите таблицу с измеренными значениями преподавателю.

Таблица 1

Свето- фильтр	Красный ( $\lambda_{кр} = 650 \text{ нм}$ )					Зеленый				
$m$	$x_{m \text{ прав,}}$ мм	$x_{m \text{ лев,}}$ мм	$x_{m \text{ ср,}}$ мм	$d,$ мм	$d_{\text{ср,}}$ мм	$x_{m \text{ прав,}}$ мм	$x_{m \text{ лев,}}$ мм	$x_{m \text{ ср,}}$ мм	$\lambda_z,$ нм	$\lambda_{z \text{ ср,}}$ нм
1										
2										
3										
4										

$S = \underline{\hspace{2cm}}$  мм.

#### б) обработка результатов измерений

1. Вычислите значения  $x_{m \text{ ср}}$  для каждого значения  $m$  красного и зеленого светофильтров по формуле:

$$x_{m \text{ ср}} = \frac{x_{m \text{ прав}} + x_{m \text{ лев}}}{2}.$$



2. Рассчитайте постоянную дифракционной решетки для каждого значения  $m$  красного светофильтра по формуле (2) и внесите результаты в таблицу 1. *Не забывайте учитывать единицы измерения величин!* По полученным значениям найдите  $d_{cp}$ :

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4}{4}.$$

3. Рассчитайте длину волны зеленого светофильтра для каждого значения  $m$  по формуле (3) и внесите результаты в таблицу 1. *Не забывайте учитывать единицы измерения величин!* По полученным значениям найдите  $\lambda_{cp}$ :

$$\lambda_{cp} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4}{4}.$$

4. Вычислите относительные погрешности определения  $d$  и  $\lambda$ :

$$\delta d = \frac{\Delta d}{d_{cp}} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_{cp}} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta x_m}{x_{mcp}},$$

$$\delta \lambda = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_{cp}} = \frac{\Delta d}{d_{cp}} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta x_m}{x_{mcp}},$$

где  $\Delta \lambda = 10$  нм,  $\Delta S$  и  $\Delta d$  – приборные погрешности измерения этих величин, равные цене деления линейки, в качестве  $x_{mcp}$  взять минимальное ( $m = 1$ ).

5. Вычислите абсолютные погрешности определения  $d$  и  $\lambda$ :

$$\Delta d = \delta d \cdot d_{cp},$$

$$\Delta \lambda = \delta \lambda \cdot \lambda_{cp}.$$

6. Запишите результаты расчета постоянной решетки и длины волны с учетом найденных погрешностей:

$$d = d_{cp} \pm \Delta d,$$

$$\lambda = \lambda_{cp} \pm \Delta \lambda.$$

Сравните полученные результаты с постоянной решетки, указанной на приборе, и диапазоном длин волн зеленого света.

## Контрольные вопросы

1. В чем состоит явление дифракции света?
2. Что представляет собой дифракционная решетка? Какие виды решеток вы знаете?
3. Что называется периодом решетки?
4. Какова схема наблюдения дифракции света на решетке по методу Фраунгофера?
5. Какие оптические явления определяют формирование дифракционной картины, полученной от решетки?
6. Как будет меняться дифракционная картина от одной и той же решетки при использовании различных светофильтров?
7. Какой вид имеет дифракционная картина при освещении решетки белым светом?
8. Как изменяется угловое расстояние между спектральными линиями при изменении периода дифракционной решетки и порядка спектра?
9. Как будет выглядеть дифракционная картина от двух щелей? Поясните рисунком.
10. Будет ли зависеть порядок дифракции от количества щелей в дифракционной решетке?
11. Изменяются ли главные максимумы по ширине и положению, если увеличить ширину светового пучка, падающего нормально на решетку? И если изменятся, то как?
12. На щель падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ . Ширина щели  $4\lambda$ . Под каким углом наблюдается второй главный дифракционный минимум?

## Рекомендуемая литература

В качестве литературы по дифракционным решеткам можно рекомендовать [1, §130], по вопросам дифракции Фраунгофера [2, §179–180]. Там же можно найти ответы на некоторые контрольные вопросы.

1. Савельев, И. В. Курс общей физики. В 3 т. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. СПб.: Лань, 2022. 500 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Академия, 2006. 560 с.