



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

## **Лабораторная работа №01**

по дисциплине «Физика»

# **«Изучение явления дифракции света от дифракционной решетки»**

Авторы

Жданова Т. П.,

Илясов В. В.,

Лемешко Г. Ф.,

Лещева О. А.,

Пруцакова Н. В.,

Холодова О. М.

Ростов-на-Дону, 2018

## Аннотация

Практикум содержит краткое описание рабочей установки и методику измерения длины световой волны с помощью дифракционной решётки. Методические указания предназначены для студентов инженерных специальностей всех форм обучения в лабораторном практикуме по физике (раздел «Оптика»).

## Авторы

К.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Жданова Т.П.,

к.т.н., профессор кафедры «Физика»

Илясов В.В.,

к.ф.-м.н., профессор кафедры «Физика»

Лемешко Г.Ф.,

доцент кафедры «Физика» Лещёва О.А.,

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Пруцакова Н.В.,

доцент кафедры «Физика» Холодова О.М.



## Оглавление

Цель работы.....	4
Приборы и принадлежности .....	4
Краткая теоретическая часть .....	4
Экспериментальная часть.....	10
Контрольные вопросы. ....	13
Рекомендуемая литература .....	13

## Цель работы

Изучить явление дифракции света на примере дифракционной решётки. Определить длину световой волны, угловую дисперсию и разрешающую способность.

## Приборы и принадлежности

Установка для наблюдения дифракции света.

## Краткая теоретическая часть

**Дифракцией** называется огибание волнами препятствий, соизмеримых с длиной волны, встречающихся на их пути, или в более широком смысле — любое отклонение распространения волн вблизи препятствий от законов геометрической оптики.

Явление дифракции можно наблюдать с помощью дифракционной решётки. **Дифракционная решётка** представляет собой стеклянную или металлическую пластинку, на которой через строго одинаковые интервалы нанесены параллельные штрихи. В итоге получают последовательность параллельных щелей равной ширины  $a$ , разделённых непрозрачными промежутками равной ширины  $b$ . Величина  $d = a + b$ , называется **периодом (постоянной)** дифракционной решётки.

Пусть на дифракционную решетку падает нормально световой поток. Благодаря дифракции свет от щелей будет распространяться во всех направлениях (на рис. 1,  $a$  показаны только два луча). Разность хода  $\Delta$  параллельных лучей, дифрагирующих от щелей под углом  $\varphi$ , равна:

$$\Delta = d \sin \varphi, \quad (1)$$

где  $\varphi$  - угол дифракции,  $d$  – постоянная дифракционной решетки.

Собрав линзой в одну линию (проходящую параллельно щелям через точку  $B$  на экране) эти лучи интерферируют. Для того, чтобы в точке  $B$  наблюдался интерференционный максимум, разность хода  $\Delta$  между волнами, испущенными соседними щелями, должна быть равна целому числу длин волн (четному

числу полуволн):

$$d \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} = \pm m \lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots), \quad (2)$$

где  $m$  – порядок максимума,  $\lambda$  - длина световой волны.

Выражение (2) задает условие **главных максимумов**.

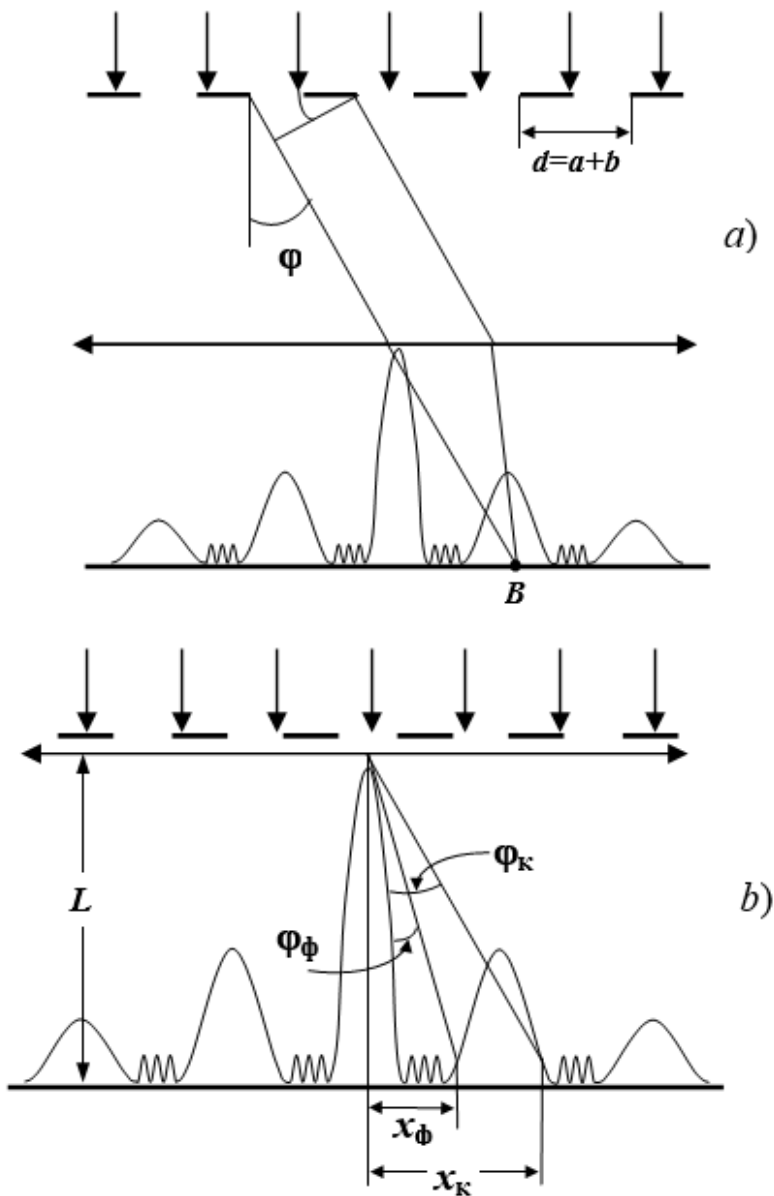


Рис. 1. Дифракция света на решётке

Главные минимумы интенсивности будут наблюдаться в направлениях, определяемых условием:

$$a \sin \varphi = \pm m \lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots), \quad (3)$$

где  $a$  - ширина щели.

Если дифракционная решётка состоит из  $N$  щелей, то **дополнительные минимумы** интенсивности будут наблюдаться в направлениях, определяемых условием:

$$d \sin \varphi = \pm m^* \lambda / N \quad (m^* = 1, 2, \dots, N \pm 1, \dots 2N \pm 1, \dots), \quad (4)$$

где  $m^*$  может принимать все целочисленные значения, кроме  $0, N, 2N, \dots$ , т. е. кроме тех значений, при которых условие (4) переходит в (2). Следовательно, в случае  $N$  щелей между двумя главными максимумами располагается  $N-1$  дополнительных минимумов, разделенных слабыми вторичными максимумами.

Чем больше щелей  $N$ , тем больше световой энергии пройдет через решетку, тем больше минимумов образуется между соседними главными максимумами, тем, следовательно, более интенсивными и более острыми будут главные максимумы.

При освещении дифракционной решётки белым светом на экране наблюдаются кроме светлой полосы (нулевого максимума) ещё и цветные линии, т.е. происходит разложение белого света в спектр. Цветные линии располагаются по обе стороны от нулевого максимума примерно на равных расстояниях (рис.1,**b**), причем фиолетовая область спектра будет обращена к центру дифракционной картины, красная — наружу. Это следует из формулы (2) в которой угол отклонения увеличивается с увеличением длины волны, т.е.  $\varphi \sim \lambda$ .

Для определения длины волны света  $\lambda$  из формулы (2), соответствующей наблюдаемому дифракционному максимуму, надо знать  $\sin \varphi$ .

В спектре (рис. 1,**b**) угол отклонения фиолетовых лучей определится так:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\phi 1} = \frac{x_{\phi 1}}{L}, \quad (5)$$

где  $x_{\phi 1}$  – расстояние от максимума нулевого порядка ( $m = 0$ ) до фиолетовой линии в спектре первого порядка ( $m = 1$ ),

$L$  – расстояние от дифракционной решётки до экрана.

Используя соотношение (2), определим:

$$\sin \varphi_{\phi 1} = \frac{m \lambda_{\phi 1}}{d}. \quad (6)$$

В нашем случае углы дифракции малы ( $\varphi < 7^\circ$ ) и можно считать  $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$  и тогда приравнявая (5) и (6) для любого цвета и порядка спектра можно записать:

$$\lambda = \frac{d}{m} \cdot \frac{x}{L}, \quad (7)$$

где  $\lambda$  – длина световой волны,  $d$  – постоянная дифракционной решетки,  $x$  – расстояние от максимума нулевого порядка ( $m = 0$ ) до линии в спектре  $m$ -го порядка.  $L$  – расстояние от дифракционной решётки до экрана.

Основными характеристиками дифракционной решётки являются угловая дисперсия и разрешающая способность.

**Угловая дисперсия**  $D$  определяется угловым расстоянием между двумя спектральными линиями, отнесённым к разности их длин волн  $\delta\varphi/\delta\lambda$ :

$$D = \delta\varphi/\delta\lambda.$$

Значение угловой дисперсии получаем, дифференцируя формулу (2):

$$D = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{m}{d} \cdot \frac{1}{\cos \varphi} = \frac{m}{d \sqrt{1 - \sin^2 \varphi}}, \text{ т.е.}$$

$$D = \frac{m}{\sqrt{d^2 - m^2 \lambda^2}}, \quad (8)$$



где  $D$  — угловая дисперсия,  $\lambda$  — длина световой волны,  $m$  — порядок спектра,  $d$  — постоянная дифракционной решетки.

Угловая дисперсия возрастает с увеличением порядка спектра.

**Разрешающая способность  $R$**  характеризует минимальную разность длин волн  $\delta\lambda$ , которые в спектре видны раздельно, т.е.

$$R = \lambda / \delta\lambda .$$

Можно показать, что для дифракционной решетки

$$R = mN ,$$

где  $m$  — порядок спектра;  $N$  — общее число штрихов решётки.

Таким образом:

$$R = \lambda / \delta\lambda = mN . \quad (9)$$

Измерив ширину освещенной части решётки  $l$ , найдём число штрихов решётки  $N$  в этой части:

$$N = N_0 l = \frac{1}{d} \cdot l, \quad (10)$$

где  $N_0 = 1/d$  — число штрихов на единице длины решётки,  $d$  — постоянная дифракционной решётки.

Таким образом, из соотношений (9) и (10) разрешающая способность дифракционной решётки определится по формуле:

$$R = \frac{ml}{d} , \quad (11)$$

где  $l$  — ширина освещённой части решётки,  $d$  - период решётки,  $m$  - порядок спектра.

Разность  $x_{\kappa} - x_{\phi} = \Delta x$  (12)

определяет длину спектра любого порядка на экране.

Воспользовавшись соотношением (2) можно

рассчитать номер последнего дифракционного максимума, который можно было бы наблюдать при определенных условиях на экране с помощью используемой дифракционной решётки:

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

Поскольку  $\sin \varphi \leq 1$ , получаем, что  $m \leq d / \lambda$ , следовательно

$$m_{max} = \frac{d}{\lambda} \quad (13)$$

### Экспериментальная часть

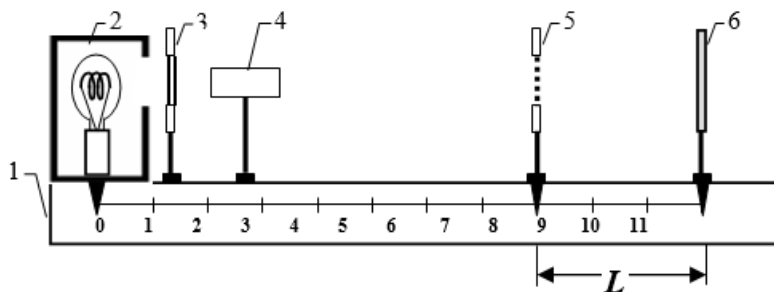


Рис. 2. Общий вид установки.

1 - оптическая скамья; 2 - осветитель; 3 - щелевая диафрагма; 4 - объектив для получения резкого изображения дифракционной картины; 5 - дифракционная решётка; 6 - матовый эк

Задание 1. Нахождение длины световой волны.

1. Занести значение периода решетки  $d$  в таблицу 1.

1. Перемещая рамку с дифракционной решёткой 5, установить расстояние  $L = 100 \text{ мм}$  между дифракционной решёткой и экраном 6 (положение экрана не изменять!!!).

2. Измерить расстояние для первого порядка ( $m = 1$ ) от середины красной полосы слева до середины красной полосы справа ( $X_k$ ). Результаты измерений занести в таблицу 1.

3. Аналогичные измерения провести для зеленых ( $X_3$ ) и фиолетовых ( $X_\phi$ ) полос 1-го порядка ( $m = 1$ ).

4. Определить расстояние от максимума нулевого порядка ( $m = 0$ ) до данной линии в спектре первого порядка ( $m = 1$ ):

$$x_K = \frac{X_K}{2}; \quad x_3 = \frac{X_3}{2}; \quad x_\phi = \frac{X_\phi}{2}$$

(для красного, зеленого и фиолетового цветов).

Таблица 1.

$d =$ мм; $m =$ ; $l_{(при L=300мм)} =$ мм													
№	L	красный				зелёный				фиолетовый			
		$X_K$	$x_K$	$\lambda_K$	$\Delta\lambda_K$	$X_3$	$x_3$	$\lambda_3$	$\Delta\lambda_3$	$X_\phi$	$x_\phi$	$\lambda_\phi$	$\Delta\lambda_\phi$
	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
1	100												
2	150												
3	200												
4	250												
5	300												
	Среднее значение	X	X			X	X			X	X		

4. Повторить пункты 1-3 не менее 5 раз, изменяя расстояние между решеткой и экраном ( $L = 100, 150, 200, 250, 300$  мм).

5. Измерить освещенную ширину решетки ( $l$ ) для  $L = 300$  мм, результаты занести в таблицу 1.

6. Вычислить длины волн наблюдаемых спектральных линий (красной, зелёной и фиолетовой) по формуле (7) и занести результаты в таблицу 1.

7. Вычислить средние значения  $\langle \lambda \rangle$  по формуле:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n}.$$

8. Вычислить абсолютные погрешности по формуле:

$$\Delta\lambda_i = |\langle \lambda \rangle - \lambda_i|$$

## Физика

9. Вычислить средние значения абсолютной погрешности:

$$\langle \Delta \lambda \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta \lambda_i}{n}.$$

10. Полученные данные внести в таблицу 1.

11. Перенести средние значения  $\langle \lambda \rangle$  и  $\langle \Delta \lambda \rangle$  из таблицы 1 в таблицу 2.

12. Найти относительные погрешности по формуле:

$$\delta_\lambda = \frac{\langle \Delta \lambda \rangle}{\langle \lambda \rangle} \cdot 100\%.$$

Занести результаты в таблицу 2.

13. Окончательный результат представить в виде:

$$\lambda = \langle \lambda \rangle \pm \langle \Delta \lambda \rangle.$$

14. По заданию преподавателя можно выполнить пункты 2-5 для спектров более высокого порядка (например,  $m = 2$ ).

**Задание 2. Определение характеристик решётки.**

1. Используя соотношение (8), вычислить угловую дисперсию для красного, зеленого и фиолетового цветов используя средние значения и занести результаты в таблицу 2.

2. Используя соотношение (11), определить разрешающую способность дифракционной решётки и занести результаты в таблицу 2.

**Задание 3. Определение характеристик спектра.**

1. Используя соотношение (13), рассчитать для всех длин волн номер максимально возможного дифракционного максимума  $m_{max}$  и занести результаты в таблицу 2.

2. Используя соотношение (12), рассчитать длину спектра 1-го порядка.

Таблица 2

ЦВЕТ	$\langle \lambda \rangle$	$\langle \Delta \lambda \rangle$	$\delta_\lambda$	$D$	$m_{max}$	R
	мм	мм	%	рад/м	-	
красный						
зелёный						
фиолетовый						

### Контрольные вопросы.

1. В чем проявляется явление дифракции света?
2. В чем состоит принцип Гюйгенса-Френеля? Какое дополнение в принцип Гюйгенса ввел Френель?
3. В каком направлении световая энергия, излучаемая вторичными источниками, максимальна?
4. Напишите математическое выражение условия, при которых будут наблюдаться минимумы и максимумы дифракции от дифракционной решетки.
5. Что такое период (постоянная) дифракционной решетки?
6. На что и как влияет изменение величины постоянной дифракционной решетки?
7. Как располагаются цветные линии в дифракционном спектре?
8. Почему при использовании белого света только центральный максимум белый, а боковые максимумы радужно окрашены?
9. Какими параметрами характеризуется дифракционная решетка в качестве спектрального прибора?
10. Дать понятия дисперсии и разрешающей способности дифракционной решётки.

### Рекомендуемая литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. - М.: Вш.шк., 2010
2. Савельев И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. - М: Наука, 2010.-т.3.