

## Лабораторная работа 3-14

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА НЕСКОЛЬКИХ ЩЕЛЯХ И ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТКАХ

*И.Ф. Уварова*

### Цель работы

Экспериментальное изучение дифракции света в параллельных лучах (дифракции Фраунгофера) на диафрагмах из двух, трех и четырех щелей и на дифракционных решетках. Определение на основе полученных дифракционных картин длины волны излучения и расстояния между щелями щелей.

### Теоретическое введение

Дифракция волн – в первоначальном узком смысле – огибание волнами препятствий, в более широком смысле – совокупность явлений, связанных с отклонениями от законов геометрической оптики при распространении света в среде с резкими неоднородностями.

Явление дифракции, как и интерференции, свойственно волнам любой природы. Но в пределе, при  $\lambda \rightarrow 0$ , законы волновой оптики переходят в законы геометрической оптики, поэтому отклонения от законов геометрической оптики оказываются тем меньше, чем меньше длина волны.

### *Принцип Гюйгенса-Френеля*

Принцип Гюйгенса-Френеля является основным постулатом волновой теории, объясняющим механизм распространения света и, в частности, дифракции света. Согласно принципу Гюйгенса-Френеля, каждый элемент волновой поверхности  $S$  (рис.14.1), достигнутый в данный момент времени световой волной, служит источником вторичной сферической волны.

Волновое возмущение в точке  $P$ , созданное источником  $P_0$ , можно рассматривать как результат интерференции вторичных элементарных волн, излучаемых каждым элементом  $dS$  волновой поверхности  $S$ .

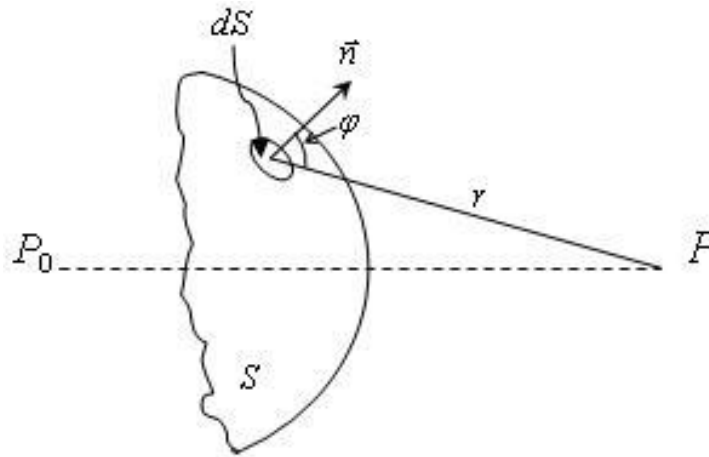


Рис. 14.1. К принципу Гюйгенса-Френеля.

Амплитуда вторичных волн пропорциональна амплитуде первичной волны  $a_0$ , приходящей в точку  $A$ , площади элемента  $dS$ , убывает с возрастанием угла  $\varphi$  между нормалью к поверхности  $S$  и направлением излучения вторичной волны на точку  $P$ . Поскольку амплитуда вторичной сферической волны убывает с расстоянием от источника по закону  $1/r$ , то вклад в волновое возмущение в точке  $P$ , вносимый элементом  $dS$ , запишется в виде:

$$dE = K(\varphi) \frac{a_0 dS}{r} \cos(\omega t - kr + \alpha_0), \quad (14.1)$$

где  $K(\varphi)$  – функция, описывающая уменьшение амплитуды вторичных волн с увеличением угла  $\varphi$ ,

$(\omega t + \alpha_0)$  – фаза колебаний в точке расположения элемента  $dS$ ,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – волновое число.

Результирующее колебание в точке  $P$  от всех элементов волновой получим, проинтегрировав  $dE$  по всей волновой поверхности:

$$E = \int_S K(\varphi) \frac{a_0 dS}{r} \cos(\omega t - kr + \alpha_0). \quad (14.2)$$

Эта формула является аналитическим выражением принципа Гюйгенса – Френеля.

Если рассматривается дифракция сферических или плоских волн и при этом точка наблюдения находится на конечном расстоянии от преграды, то явления такого рода называют дифракцией Френеля. Если источник света и точка наблюдения расположены от преграды настолько далеко, что лучи, падающие на преграду, и лучи, идущие в точку наблюдения, образуют практически параллельные пучки, то говорят о дифракции Фраунгофера. Можно ввести количественный критерий, позволяющий определить, какой тип дифракции имеет место в том или ином случае. Пусть на преграду, характерный размер которой  $b$ , падает излучение с длиной волны  $\lambda$ , а точка наблюдения находится на расстоянии  $l$  от преграды. Если  $\frac{b^2}{\lambda l} \ll 1$ , наблюдается дифракция Фраунгофера. Если  $\frac{b^2}{\lambda l} \sim 1$ , наблюдается дифракция Френеля. Если  $\frac{b^2}{\lambda l} \gg 1$ , свет распространяется по законам геометрической оптики.

### *Дифракция Фраунгофера на щели*

Строгое решение задач дифракции на основе принципа Гюйгенса – Френеля (14.2) обычно связано с очень большими математическими трудностями, но в ряде случаев амплитуда колебания в точке наблюдения может быть найдена достаточно просто.

Рассмотрим длинную щель ширины  $b$  (рис. 14.2).

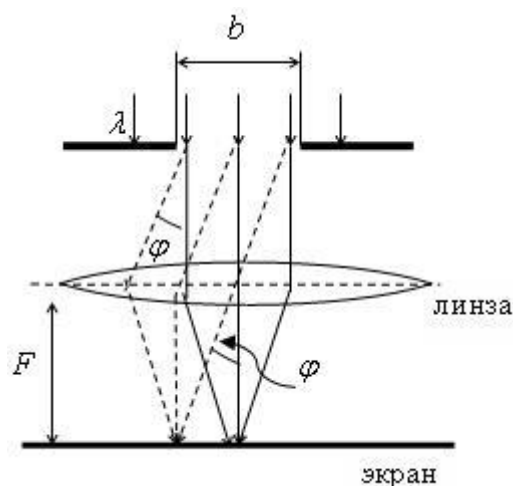


Рис. 14.2. Схема дифракции Фраунгофера на щели.

Если длина щели во много раз больше её ширины, то такую щель можно считать бесконечно длинной. На щель падает плоская световая монохроматическая волна длиной  $\lambda$ . За щелью расположена собирающая линза, в фокальной плоскости которой находится экран, плоскость экрана параллельна плоскости щели. Параллельный пучок лучей после прохождения щели распространяется под различными углами к первоначальному направлению. Линза собирает параллельные пучки лучей в определенной точке фокальной плоскости (на экране). Разобьем площадь щели на ряд узких параллельных зон в виде полосок равной ширины  $dx$  (рис.14.3).

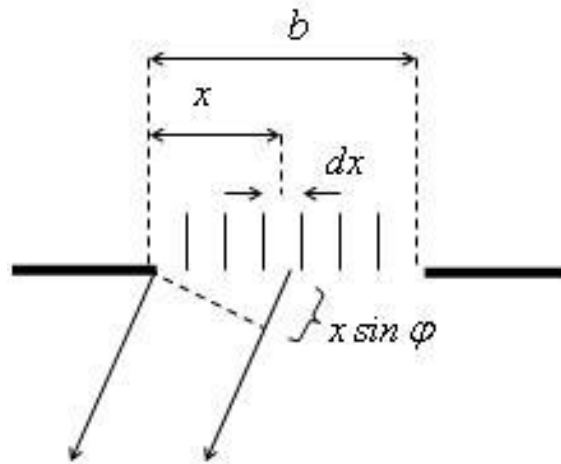


Рис. 14.3. К выводу формулы зависимости интенсивности света от угла дифракции при дифракции Фраунгофера на щели.

Каждая из этих полосок может рассматриваться как источник волн, причем фазы этих волн одинаковы, поскольку плоскость щели совпадает с фронтом падающей плоской волны. Амплитуды этих волн тоже одинаковы, поскольку все полоски имеют одинаковую площадь. Тогда амплитуда волн  $a_0$  в формуле (14.1) одинакова для всех точек щели и равна

$$a_0 = \frac{A_0}{b},$$

где  $A_0$  - амплитуда, возбуждаемая в данной точке экрана всеми зонами.

Поскольку угол  $\varphi$  обычно невелик, можно считать коэффициент  $K(\varphi)$  в формуле (14.1) постоянным. Учтем, что площадь полоски пропорциональна её ширине:  $dS \sim dx$ , и для плоских волн множитель  $1/r$  в формуле (14.1) отсутствует. Волны, распространяющиеся в направлении, определяемом углом  $\varphi$ , от выделенной зоны, приобретают по сравнению с волнами, идущими от края щели дополнительную разность хода равную  $x \sin \varphi$ . Линза не вносит дополнительной разности хода, поэтому световое возмущение в точке экрана от выделенной зоны можно представить в виде:

$$dE_{\varphi} = \frac{A_0}{b} dx \cos(\omega t - kx \sin \varphi). \quad (14.3)$$

Действие всей щели найдем, проинтегрировав выражение (14.3) по всей ширине щели:

$$E_{\varphi} = \int_0^b \frac{A_0}{b} \cos(\omega t - kx \sin \varphi) dx = A_0 \frac{\sin\left(\frac{bk \sin \varphi}{2}\right)}{\frac{bk \sin \varphi}{2}} \cos\left(\omega t - \frac{1}{2} k b \sin \varphi\right).$$

Амплитуда этой волны  $A_{\varphi}$  равна:

$$A = A_0 \frac{\sin\left(\frac{bk \sin \varphi}{2}\right)}{\frac{bk \sin \varphi}{2}} = A_0 \frac{\sin\left(\frac{b\pi \sin \varphi}{\lambda}\right)}{\frac{b\pi \sin \varphi}{\lambda}}.$$

Поскольку интенсивность  $I_{\varphi} \sim A_{\varphi}^2$ , то для интенсивности света получим следующее выражение:

$$I_{\varphi} = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{b\pi \sin \varphi}{\lambda}\right)}{\left(\frac{b\pi \sin \varphi}{\lambda}\right)^2}. \quad (14.4)$$

Зависимость интенсивности  $I_{\varphi}$  от угла  $\varphi$  представлена на рис.14.4.

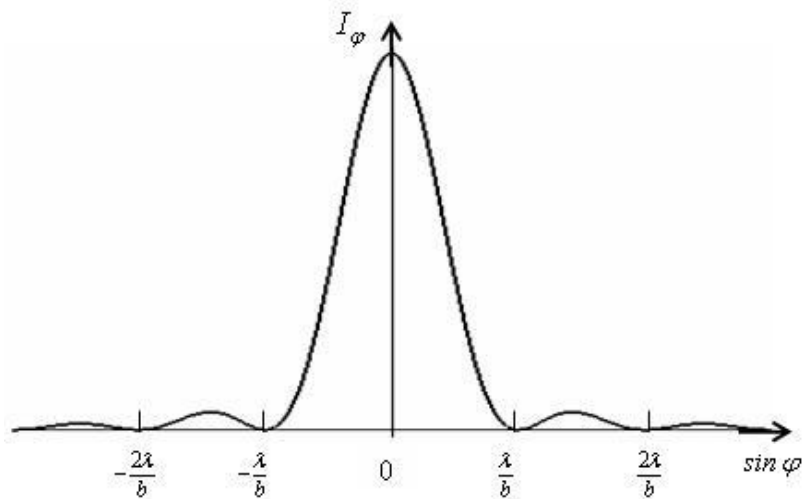


Рис. 14.4. Дифракция Фраунгофера на щели. Зависимость интенсивности от угла дифракции.

Из равенства нулю числителя выражения (14.4) получим условие для определения минимумов интенсивности:

$$b \sin \varphi = \pm k\lambda, \text{ где } k = 1, 2, 3, \dots \quad (14.5)$$

Поскольку  $|\sin \varphi| \leq 1$ , то из предыдущей формулы следует, что общее число минимумов ограничено условием:

$$k \leq \frac{b}{\lambda}.$$

Максимум интенсивности наблюдается для угла  $\varphi = 0$  (центральный максимум). Положение следующих побочных максимумов не может быть найдено по строгой аналитической формуле. Численный расчет дает следующие значения углов:

$$b \sin \varphi_1 = \pm 1,43\lambda - \text{максимумы 1-го порядка,}$$

$$b \sin \varphi_2 = \pm 2,46\lambda - \text{максимумы 2-го порядка,}$$

$$b \sin \varphi_3 = \pm 3,47\lambda - \text{максимумы 3-го порядка.}$$

Приближенная формула для определения положения дифракционных максимумов имеет вид:

$$b \sin \varphi \approx \pm(k + 1/2)\lambda, \text{ где } k = 1, 2, 3, \dots$$

Яркость побочных максимумов значительно ниже яркости центрального.

Дифракционная картина будет симметрична относительно оптической оси линзы, центральный максимум всегда лежит против оптического центра линзы.

### *Дифракция на нескольких щелях. Дифракционная решетка.*

Дифракционная решетка – оптический прибор, представляющий собой совокупность большого числа регулярно нанесенных штрихов (щелей, бороздок, канавок). Мы будем рассматривать решетки, состоящие из одинаковых равноотстоящих друг от друга щелей. Такие решетки называются прозрачными (рис.14.5). Расстояние между серединами соседних щелей называется периодом решетки  $d$ .

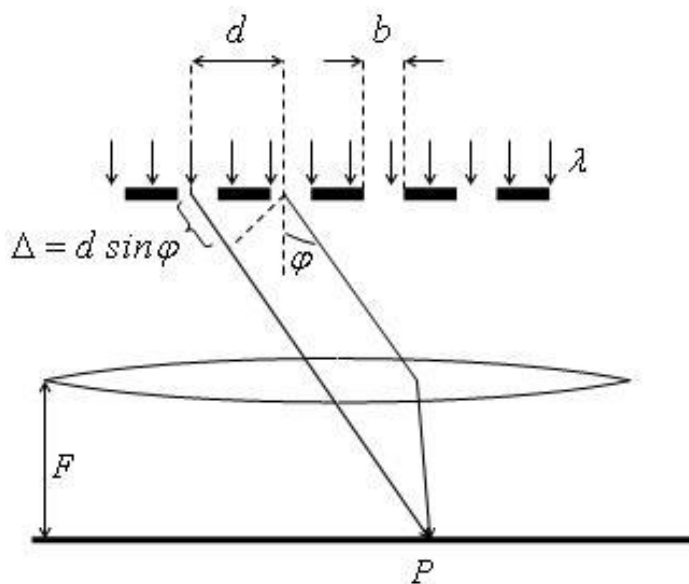


Рис. 14.5. Схема дифракции Фраунгофера на прозрачной дифракционной решетке.

Расположим собирающую линзу параллельно плоскости решетки, в фокальной плоскости линзы поместим экран (рис.14.5). При падении на решетку плоской монохроматической волны происходит дифракция света, распределение интенсивности в результате дифракции на каждой щели будет соответствовать рис.14.4, причем центральный максимум для всех  $N$  щелей будет лежать против оптического центра линзы. Колебания, приходящие в точку  $P$  от различных щелей, когерентны, поэтому колебание в точке  $P$  представляет собой результат интерференции  $N$  когерентных колебаний с одинаковой амплитудой  $A_\varphi$ . Друг относительно друга эти колебания будут сдвинуты по фазе на одну и ту же величину  $\delta$ . Интенсивность такой многолучевой интерференционной картины определяется выражением:

$$I = I_\varphi \frac{\sin^2\left(\frac{N\delta}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)}, \quad (14.6)$$

где  $I_\varphi$  определяется формулой (14.4).

Как видно из рис.14.5, оптическая разность хода  $\Delta$  от соседних щелей равна:

$$\Delta = d \sin \varphi ,$$

тогда разность фаз равна:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi .$$

С учетом данного выражения и формулы (14.4) для  $I_\varphi$  получим зависимость интенсивности  $I$  от угла  $\varphi$  при дифракции на решетке из  $N$  щелей:

$$I = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{b\pi \sin \varphi}{\lambda}\right)}{\left(\frac{b\pi \sin \varphi}{\lambda}\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi d \sin \varphi}{\lambda}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d \sin \varphi}{\lambda}\right)}. \quad (14.7)$$

Зависимость интенсивности  $I$  от угла  $\varphi$  представлена на рис.14.6.



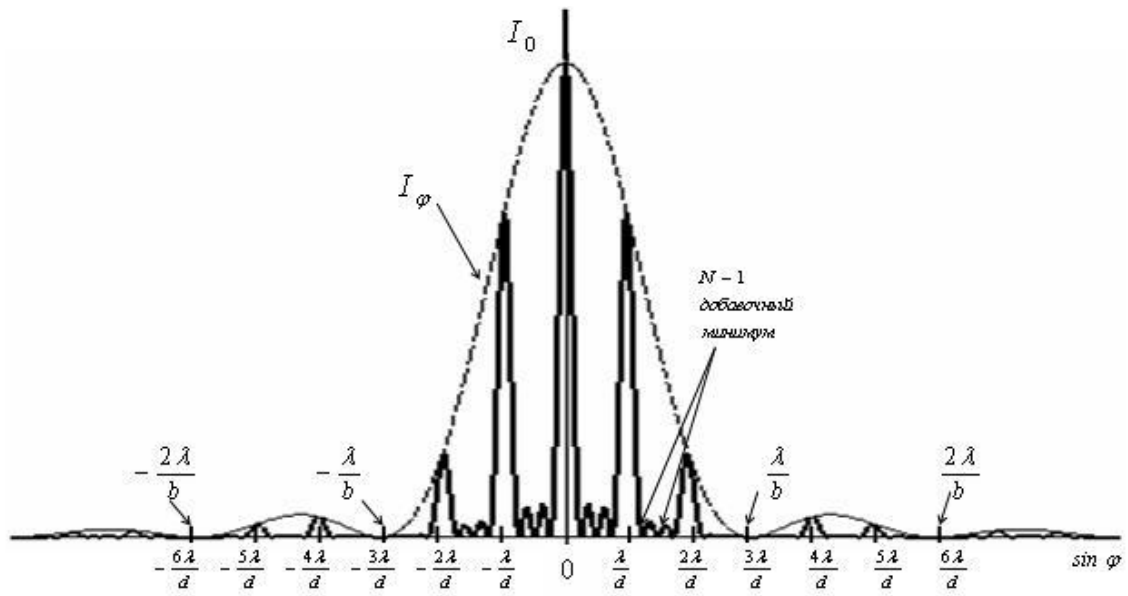


Рис. 14.6. Зависимость интенсивности света от угла дифракции при дифракции Фраунгофера на решетке из четырех щелей,  $d/b = 3$ .

На рис. 14.6 указаны положения главных дифракционных максимумов. Пунктиром указано распределение интенсивности  $I_\varphi$  при дифракции на одной щели и отмечено положение дифракционных минимумов.

Первый множитель в (14.7) обращается в нуль при значениях углов, которые определяются из условия (14.5): в этих направлениях интенсивность, создаваемая каждой из щелей равна нулю, поэтому равна нулю и результирующая интенсивность. Если разность хода лучей  $\Delta$  от соседних щелей в некоторой точке экрана равна целому числу длин волн, то эти лучи усиливают друг друга, и образуются главные дифракционные максимумы, определяемые из условия:

$$d \sin \varphi = \pm m\lambda, \text{ где } m = 1, 2, 3... \quad (14.8)$$

Значение  $m$  определяет порядок главного максимума, максимальное значение  $m$  ограничено условием:

$$m \leq \frac{d}{\lambda}.$$

Поскольку для направлений, определяемых условием (14.8), колебания от отдельных щелей складываются, то амплитуда результирующего колебания  $A$  равна:  $A = A_\varphi N$ , соответственно интенсивность  $I$  главных максимумов в  $N^2$  раз больше интенсивности  $I_\varphi$ , создаваемой в направлении  $\varphi$  отдельной щелью:

$$I = I_\varphi N^2.$$

Против оптического центра линзы находится самый яркий центральный максимум.

Между каждыми двумя главными максимумами лежат  $(N - 1)$  добавочных минимумов, положения которых определяются из условия:

$$d \sin \varphi = \pm \left( m\lambda \pm \frac{p\lambda}{N} \right), \text{ где } p = 1, 2, \dots (N - 1). \quad (14.9)$$

Соответственно между двумя главными максимумами находятся  $(N - 2)$  слабых вторичных максимума (рис. 14.6).

Если отношение  $d/b$  равно отношению двух целых чисел, т.е.

$$\frac{d}{b} = \frac{m}{k},$$

то направления на главные максимумы порядков  $m, 2m, 3m$  и т.д. совпадают с направлениями на минимумы порядка  $k, 2k, 3k$  и т.д., которые обусловлены дифракцией на одной щели. В этом случае соответствующие главные максимумы отсутствуют.

Угловое расстояние между главным максимумом и ближайшим к нему добавочным минимумом (угловая ширина максимума)  $\Delta\varphi$  равно

$$\Delta\varphi = \frac{\lambda}{Nd \cos \varphi}.$$

При не очень больших углах дифракции (небольших порядках  $m$ )  $\cos \varphi \approx 1$ , тогда угловая ширина максимума практически не зависит от порядка спектра:

$$\Delta\varphi = \frac{\lambda}{Nd}$$

Из этой формулы следует, что угловая ширина главных максимумов тем меньше, чем больше произведение  $Nd$ . Если период решетки  $d$  задан, то угловая ширина главных максимумов уменьшается с ростом числа щелей  $N$ , поэтому дифракционная картина для решеток с большим числом штрихов представляет собой набор резких главных максимумов, располагающихся симметрично относительно яркого центрального максимума. Добавочные минимумы и вторичные максимумы практически не наблюдаются.

Если источником света является излучение лазера, то благодаря высокой степени пространственной и временной когерентности этого излучения, можно наблюдать дифракцию Фраунгофера на щели или на дифракционной решетке без использования линзы. Для этого экран надо размещать на большом расстоянии от преграды. Тогда лучи, приходящие в точку  $P$  экрана от различных зон щели или решетки будут практически параллельны (рис.14.7). Центр дифракционной картины лежит в направлении падения исходного пучка лучей. Все сделанные ранее выводы относительно особенностей дифракционных картин в этом случае остаются справедливыми.

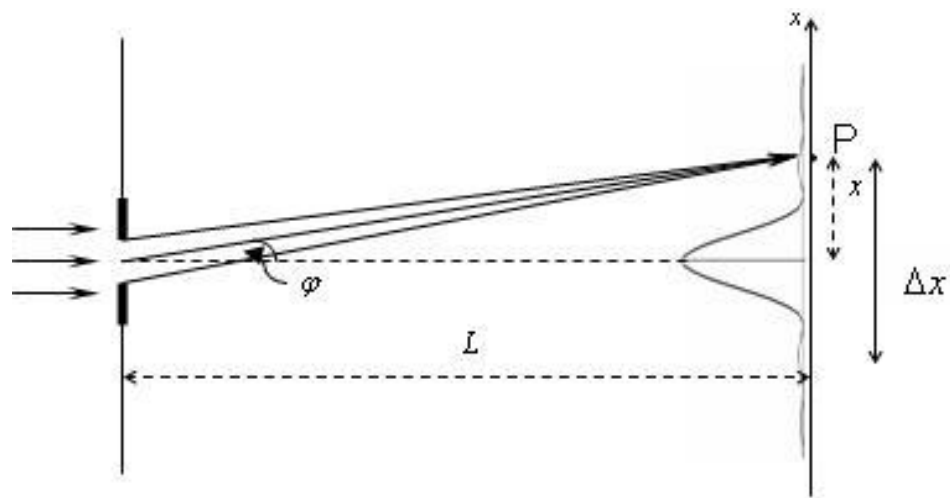


Рис. 14.7. Схема наблюдения дифракции Фраунгофера без использования линзы.

Измеряя расстояние  $x$  от центра картины до точки  $P$  экрана (рис. 14.7), можно найти углы дифракции:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{x}{L}, \quad (14.10)$$

При малых углах дифракции, а именно это имеет место в случае больших  $L$ , можно считать:

$$\operatorname{tg}\varphi \approx \sin \varphi \approx \varphi. \quad (14.11)$$

Тогда с учетом условий (14.10), (14.11) получим координаты минимумов для дифракции на щели:

$$x_{\min} = \pm k \frac{\lambda L}{b}, \quad (14.12)$$

и координаты главных максимумов для дифракции на решетке:

$$x_{\max} = \pm m \frac{\lambda L}{d}. \quad (14.13)$$

Используя полученные выражения, можно определять параметры щелей и решеток, если известна длина волны излучения  $\lambda$ , либо находить длину волны излучения по известным значениям  $b$  и  $d$ . Для определения  $\lambda$  измеряют расстояние  $\Delta x_m = x_m - x_{-m}$  между симметричными главными максимумами порядка  $m$  при дифракции на решетке. Тогда из (14.13) получим выражение для длины волны:

$$\lambda = \frac{d}{2L} \frac{\Delta x_m}{m}. \quad (14.14)$$

Для расстояния между щелями  $d$ , получим из (13):

$$d = \frac{m}{x_m} \lambda L, \quad (14.15)$$

где  $x_m$  – координата максимума порядка  $m$ , отсчитанная от центра дифракционной картины.

## Описание экспериментальной установки

Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 14.8.

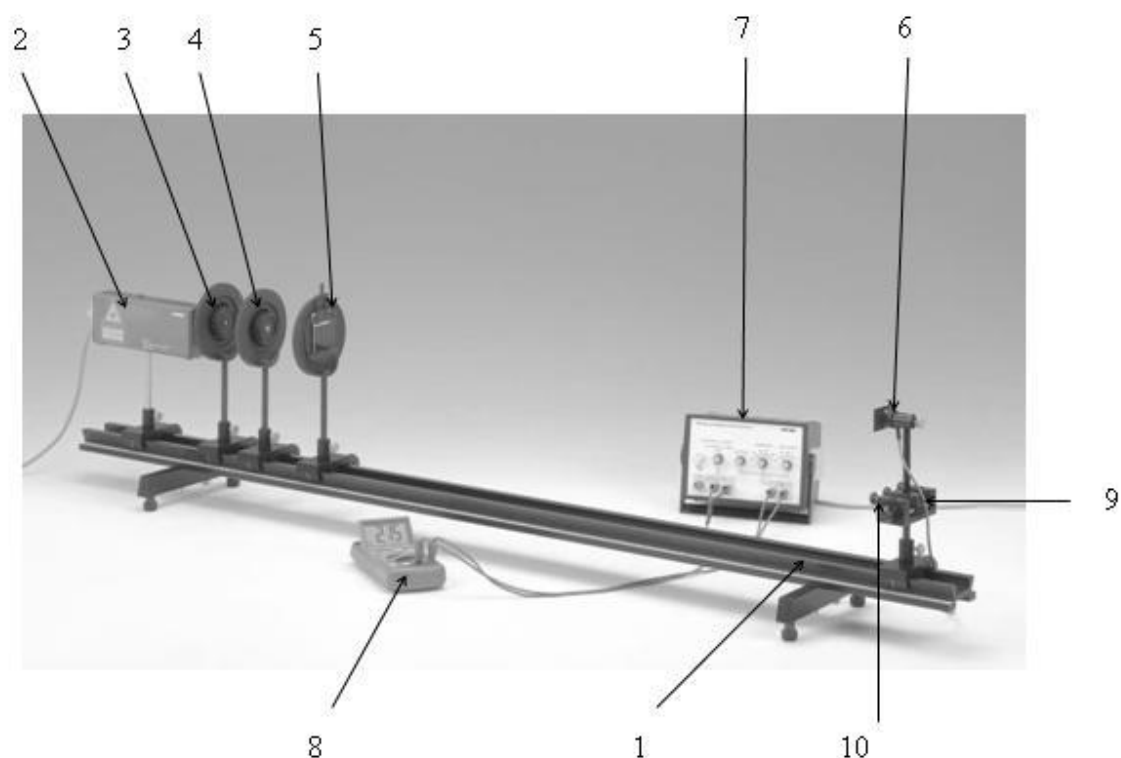


Рис. 14.8. Схема экспериментальной установки.

Основные элементы экспериментальной установки: 1 – оптическая скамья, 2 – гелий-неоновый лазер, 3 – собирающая линза (фокусное расстояние  $F = 20$  мм), 4 – собирающая линза (фокусное расстояние  $F = 100$  мм), 5 – держатель с дифракционным образцом, 6 – фотоэлемент, 7 – усилитель электрических сигналов, 8 – мультиметр, 9 – скользящая горизонтальная платформа, 10 – микрометрические винты.

Экспериментальная установка показана на рис. 14.8. На оптической скамье 1 укреплен гелий-неоновый лазер 2. С помощью собирающей линзы 3 (фокусное расстояние  $F = 20$  мм) и собирающей линзы 4 (фокусное расстояние  $F = 100$  мм) формируют достаточно широкий параллельный пучок лазерного излучения, который падает на исследуемый дифракционный объект 5 (на дифракционную решетку или диафрагму с набором щелей), укрепленный в

вертикальном держателе. Далее излучение падает на фотоэлемент 6, в котором под воздействием излучения возникает фотоЭДС. Таким образом, об относительной интенсивности дифракционной картины можно судить по величине фотоЭДС, возникающей в цепи фотоэлемента. Для этого сигнал с фотоэлемента поступает сначала на усилитель 7, а затем на цифровой мультиметр 8. Фотоэлемент 6 укреплен на подвижной платформе 9, которая может перемещаться в горизонтальной плоскости перпендикулярно оптической скамье с помощью микрометрического винта 10. Положение платформы определяется по показаниям шкалы микрометрического винта.

### *Описание шкалы микрометрического винта*

На шкале микрометрического винта в окошке над круговой шкалой указано полное число оборотов винта, сделанное после прохождения ближайшего нулевого отсчета (см. рис. 14.9). При вращении винта вправо, по часовой стрелке, показания шкалы растут, а щель фотоэлемента приближается к наблюдателю; при вращении влево, против часовой стрелки, показания шкалы уменьшаются, щель фотоэлемента удаляется от наблюдателя. Один полный оборот микрометрического винта соответствует перемещению фотоэлемента в горизонтальном направлении на 0,5 мм. Число оборотов (число в окошке шкалы) может принимать значение от 1 до 20. После совершения 20 полных оборотов показания обнуляются и начинаются заново.

Круговая шкала имеет 50 делений. Поворот винта на 1 деление круговой шкалы соответствует перемещению фотоэлемента в горизонтальном направлении на 0,01 мм. Обратите внимание, что деления на круговой шкале занумерованы числами 0, 10, 20, ... 90 через каждые 5 делений.

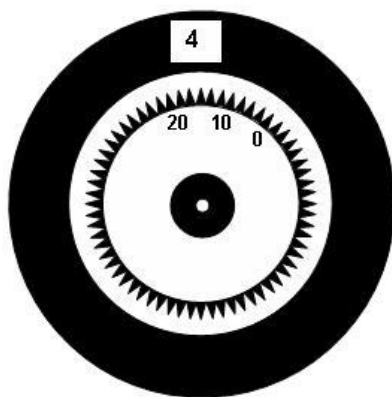


Рис. 14.9. Круговая шкала микрометрического винта.

Таблица 14.1

**Технические данные приборов**

Название прибора	Пределы измерений	Число делений	Цена деления	Класс точности	Абсолютная приборная погрешность
Шкала оптической скамьи					
Шкала микрометрического винта					
Цифровой мультиметр					

Таблица 14.2

**Параметры экспериментальной установки**

Число штрихов/мм дифракционной решетки	$d \pm \Delta d$ , м	$L \pm \Delta L$ , м



## Порядок выполнения работы

Лабораторную работу необходимо выполнять, строго соблюдая правила техники безопасности и охраны труда, установленные на рабочем месте студента в лаборатории.

**Внимание! При работе на установке соблюдайте осторожность и не допускайте попадания лазерного излучения в глаза.**

Перед выполнением работы внимательно ознакомьтесь с описанием шкалы микрометрического винта: от того, насколько правильно произведен отсчет по шкале, зависит качество полученных результатов!

### *Изучение дифракции Фраунгофера на дифракционной решетке*

1. Включите лазер 2 и усилитель 7 (рис. 14.8), в течение нескольких минут оборудование выходит на рабочий режим.
2. Закрепите в держателе 5 соответствующую индивидуальному заданию дифракционную решетку. Плоскость решетки должна быть перпендикулярна плоскости лазерного пучка.
3. Под руководством лаборанта добейтесь четкой дифракционной картины на экране фотоэлемента. Для удобства наблюдения во время юстировки можно прикрыть экран листом белой бумаги. На дифракционной картине должны отчетливо наблюдаться центральный дифракционный максимум и 2-3 главных максимума по обе стороны от центрального. По шкале оптической скамьи определите расстояние  $L$  от решетки до фотоэлемента. Положение приборов определяйте по белым рискам на опорах.
4. Занесите в табл. 14.2 данные экспериментальной установки, а именно: число штрихов на 1 мм длины решетки, расстояние  $L$ . Рассчитайте и внесите в табл. 14.2 период решетки  $d$ . Погрешность измерения  $\Delta L$  примите равной 5 мм, погрешность измерения  $\Delta d$  примите равной 0,001 мм.

5. Включите мультиметр. Медленно вращая микрометрический винт 10 против часовой стрелки, сместите входную щель фотоэлемента в положение, соответствующее второму слева от центрального (если смотреть на экран вдоль луча) дифракционному максимуму. Выставьте предел измерения напряжения 20 В.

6. Наблюдая за показаниями вольтметра и медленно вращая микрометрический винт то в одну, то в другую сторону, следует добиться такого положения, при котором напряжение максимально. Это и будет положение, соответствующее главному дифракционному максимуму с номером  $m = -2$ . Запишите в табл. 14.3 значение в окошке круговой шкалы (см. рис. 14.9).

7. Вращая микрометрический винт строго вправо, по часовой стрелке (показания шкалы микрометрического винта должны возрастать), и наблюдая за показаниями вольтметра, сместите фотоэлемент в положение, соответствующее соседнему,  $m = -1$ , максимуму. В соответствии с п.6, определите точное положение максимума, запишите в табл. 14.3 значение в окошке круговой шкалы.

8. Повторяя процедуру, изложенную в п.п. 6 и 7, последовательно определите положения центрального максимума, главных максимумов с номерами  $m = 1, 2$ , каждый раз записывайте в табл. 14.3 значения в окошке круговой шкалы. **Внимание!** При переходе к каждому последующему максимуму винт нужно вращать строго вправо, по часовой стрелке, при этом фотоэлемент движется от левого края дифракционной картины к правому.

9. Рассчитайте и запишите в табл. 14.3 число оборотов круговой шкалы, соответствующее каждому максимуму. Если при переходе к последующему максимуму значение в окошке круговой шкалы стало меньше предыдущего, то добавьте 20 оборотов к данному и всем последующим значениям. Внимательно следите за показаниями шкалы микрометрического винта в окошке, не забывайте добавлять к значению числа оборотов 20, столько раз, сколько эти показания обнулялись с начала измерений! Значения числа оборотов, которые вы вносите в таблицу по мере перемещения фотоэлемента, должны только возрастать.

Таблица 14.3

**Положение главных дифракционных максимумов**

Номер максимума $m$	- 2	- 1	0	1	2
---------------------	-----	-----	---	---	---

Значение в окошке круговой шкалы					
$n$ – число оборотов, соответствующее максимуму					
Координата максимума $x_m = 0,5 \cdot n$ , мм					
Результаты расчетов	$\Delta x_1$ , мм $\Delta x_1 = x_1 - x_{-1}$	$\Delta x_2$ , мм $\Delta x_2 = x_2 - x_{-2}$	$\lambda_1$ , мкм	$\lambda_2$ , мкм	$\bar{\lambda} \pm \Delta\lambda$ , мкм

### Исследование зависимости интенсивности свете от угла дифракции при дифракции

#### Фраунгофера на системе из нескольких параллельных щелей

1. Закрепите в держателе 5 соответствующую индивидуальному заданию диафрагму с набором щелей. Плоскость диафрагмы должна быть перпендикулярна плоскости лазерного пучка.

2. Прикрыв входное отверстие фотоэлемента листом белой бумаги, получите на листе дифракционную картину. Найдите яркий центральный максимум и, медленно вращая микрометрический винт 10, сместите фотоэлемент в положение, соответствующее центральному дифракционному максимуму. Уберите лист и добейтесь максимальных показаний вольтметра. Запишите полученное значение в табл. 14.4 в качестве нулевого отсчета ( $N = 0$ ). Это будет максимальное значение напряжения -  $V_{\max}$ .

3. Медленно вращая микрометрический винт вправо с шагом  $h = 0,4$  мм, т.е. поворачивая винт каждый раз на 40 делений круговой шкалы по часовой стрелке (например, от деления с номером 10 до деления с номером 50, поскольку на шкале занумерованы каждые 5 делений), записывайте в табл. 14.4 показания вольтметра. Измерения проводите до тех пор, пока фотоэлемент не пройдет положение, соответствующее третьему главному дифракционному максимуму. Число измерений может достигать 30-35.

*Таблица 14.4*

#### **Зависимость напряжения от положения фотоэлемента при дифракции на нескольких щелях**

Номер измерения $N$	0	1	2	...						35
$V, \text{В}$										
$V/V_{\max}$										
Координата $x = 0,4 \cdot N, \text{мм}$										

## Обработка результатов измерений

### Определение длины волны лазерного излучения

1. Вычислите и занесите в табл. 14.3 расстояние  $\Delta x_1 = x_1 - x_{-1}$  и  $\Delta x_2 = x_2 - x_{-2}$  между симметричными максимумами первого и второго порядков.

2. Пользуясь результатами табл. 14.3, вычислите по формуле (14.14) значения длины волны излучения для каждого значения  $m$  порядка дифракционного максимума и занесите результаты расчетов в табл. 14.3.

3. Вычислите и запишите в таблицу 14.3 среднее значение длины волны  $\bar{\lambda}$  по формуле

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}.$$

4. Оцените относительную погрешность измерения для первого ( $m = 1$ ) порядка спектра:

$$\delta = \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta(\Delta x_1)}{\Delta x_1},$$

где погрешность измерения положения первого максимума  $\Delta(\Delta x_1) = 0,5 \text{ мм}$ .

Теперь можно найти абсолютную погрешность по формуле:

$$\Delta\lambda = \delta \cdot \bar{\lambda}.$$

5. Окончательный результат представьте в виде:

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm \Delta\lambda.$$

### Определение расстояния между щелями

1. По результатам табл. 14.4 постройте график зависимости  $V/V_{\max}$  от положения фотоэлемента. По оси абсцисс следует откладывать значения координаты  $x$ , мм:  $x = 0,4 \cdot N$ , где  $N$  – номер измерения, 0,4 мм – шаг перемещения фотоэлемента. По оси ординат отложите нормированные значения напряжения  $V/V_{\max}$ .

2. По графику определите координаты  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  первого, второго и третьего дифракционного максимума. Результаты занесите в табл. 14.5.

3. Вычислите по формуле (14.15) расстояние между щелями для каждого порядка дифракционного спектра:  $m = 1, 2, 3$ , используя полученное ранее значение длины волны  $\bar{\lambda}$ .

4. Вычислите среднее значение  $\bar{d}$  по формуле:

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}.$$

5. Поскольку точность определения положения дифракционного максимума по графику не превышает 10%, погрешность измерения  $\Delta d$  равна:

$$\Delta d \approx 0,1 \cdot \bar{d}.$$

Результаты занесите в табл. 14.5.

6. Окончательный результат представьте в виде:

$$d = \bar{d} \pm \Delta d.$$

Таблица 14.5

### Положение главных дифракционных максимумов

Номер максимума $m$	$x_m$ , мм	$x_m / m$ , мм	$d_m$ , мкм
1			
2			
3			
Средние значения		$\bar{d}$ , мкм;	$\Delta d$ , мкм

## **Библиографический список**

### *а) основной*

1. *Савельев И.В.* Курс физики: В 5 т. М.: Лань. 2004. Т.2. С. 381-384, 400-415.
2. *Капуткин Д.Е., Шустиков А.Г.* Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ: Учеб. пособие. М.: МИСиС, 2007, 108 с.

### *б) дополнительный*

3. *Ландсберг Г.С.* Оптика. М.: Физматлит, 2003. С.150-155, 172-179, 198-203.

## **Контрольные вопросы**

1. В чем состоит явление дифракции?
2. Как формулируется принцип Гюйгенса-Френеля?
3. Каково условие получения дифракционных минимумов при дифракции Фраунгофера на одной щели?
4. Каково условие получения дифракционных максимумов при дифракции Фраунгофера на дифракционной решетке?
5. Как в работе определяется длина волны лазерного излучения?
6. Как в работе определяется ширина щели?

