

Бесплатно

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

---

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Утверждено редакционным  
советом института  
в качестве методических указаний  
к лабораторным работам № 3—9, 3—10, 3—34

КУЙБЫШЕВ 1984

Методические указания к лабораторным работам содержат краткое введение, знакомящее студентов с дифракционными явлениями, используемыми в работах. Приведены схемы экспериментальных установок; методы измерений; порядок выполнения лабораторных работ и обработки полученных результатов; перечень контрольных вопросов, необходимых для самостоятельной подготовки студентов, и перечень рекомендуемой литературы.

Лабораторные работы предназначены для студентов дневного и вечернего отделений всех факультетов.

Составители: П. Я. Нечаев, В. П. Кабанова, Н. В. Орлова

Рецензенты: Н. В. Волков, Л. И. Лагутская

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ ЗОННОЙ ПЛАСТИНКИ

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, ртутная лампа, конденсорная линза, экран с крестообразным вырезом, светофильтр, зонная пластинка, окуляр, микроскоп.

### ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА-ФРЕНЕЛЯ

Дифракция — проявление волновой природы света. Она состоит в том, что свет огибает препятствия на своем пути, частично попадая в область геометрической тени.

Явление дифракции света впервые было объяснено Френелем. Френель использовал принцип Гюйгенса и идею об интерференции света, высказанную Юнгом.

Приближенное правило (принцип Гюйгенса-Френеля), сформулированное Френелем, позволяет с достаточной точностью решить большинство задач по дифракции света.

Принцип Гюйгенса-Френеля состоит в следующем:

1. Действительный источник света можно заменить системой фиктивных вторичных источников. В качестве этих источников можно выбрать малые участки  $dS$  любой замкнутой поверхности  $S$ , охватывающей источник (чаще всего принимают одну из волновых поверхностей).

2. Амплитуда и фаза колебания вторичного источника равны амплитуде и фазе колебания, дошедшего до элемента  $dS$ .

3. Световое воздействие в точке наблюдения определяется интерференцией волн, приходящих в эту точку от вторичных источников, так как вторичные источники когерентны.

4. Для поверхности  $S$ , совпадающей с волновой поверхностью, мощности вторичного излучения зависят от площади участка  $dS$ . Кроме того, излучение вторичных источников максимальное в направлении внешней нормали к поверхности, на которой они расположены, и убывают с увеличением угла  $\varphi$  между нормалью и направлением излучения (для  $\varphi = 90^\circ$  излучение отсутствует).

## ЗОНЫ ФРЕНЕЛЯ

При рассмотрении взаимной интерференции вторичных волн Френель применил весьма наглядный прием, получивший название метода зон Френеля. Этот метод состоит в следующем: пусть имеется точечный источник света  $A$  (рис. 1), нужно найти амплитуду светового колебания в точке  $B$ . Согласно принципу Гюйгенса-Френеля заменим действие источника  $A$  действием воображаемых источников, расположенных на вспомогательной поверхности  $S$ . В качестве вспомогательной поверхности выберем поверхность фронта волны, идущей из  $A$ , т. е. поверхность сферы с центром  $A$ .

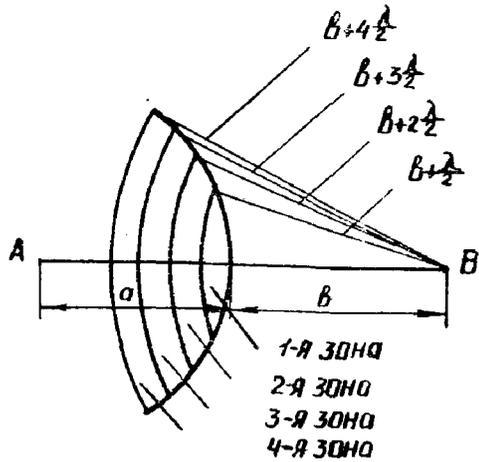


Рис. 1

Френель разбил волновую поверхность на зоны следующим образом: из точки  $B$ , как центра, проводятся окружности радиуса

$$b_m = b + m \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2 \dots),$$

где  $\lambda$  — длина световой волны. Эти окружности вырезают на волновой поверхности кольцевые зоны.

Рассчитаем размеры зон Френеля. Из рис. 2 имеем:

$$r_m^2 = a^2 - (a - h_m)^2 = \left( b + m \frac{\lambda}{2} \right)^2 - (b + h_m)^2,$$

где  $a$  — радиус волновой поверхности;  
 $r_m$  — радиус внешней  $m$ -й зоны.

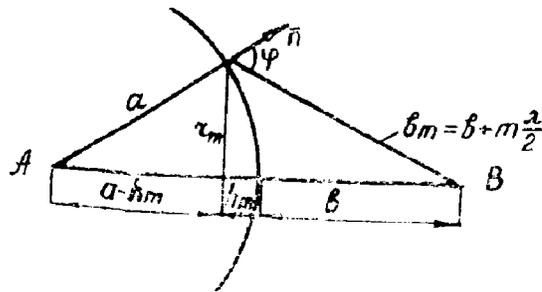


Рис. 2

Возведем выражение в скобках в квадрат, получим

$$r_m^2 = 2ah_m - h_m^2 = bm\lambda + m^2(\lambda/2)^2 - 2bh_m - h_m^2, \quad (1)$$

откуда

$$h_m = \frac{bm\lambda + m^2(\lambda/2)^2}{2(a+b)}.$$

При не слишком больших  $m$  можно пренебречь слагаемым, содержащим  $\lambda^2$ , так как  $\lambda \ll b$ .

Тогда

$$h_m = \frac{bm\lambda}{2(a+b)}. \quad (2)$$

Площадь сферического сегмента

$$S_m = 2\pi ah_m = \frac{\pi ab}{a+b} m\lambda,$$

а площадь  $m$ -й зоны Френеля

$$\Delta S = S_m - S_{m-1} = \frac{\pi ab \lambda}{a+b}. \quad (3)$$

Таким образом, при не слишком больших номерах  $m$  площади зон Френеля одинаковы. Но с возрастанием номера зоны возрастает угол  $\varphi$  между нормалью к поверхности  $S$  и направлением излучения, поэтому амплитуды колебаний, доходящих до точки  $B$  от отдельных зон, монотонно убывают с увеличением номера зоны  $m$ .

Оценим радиусы зон Френеля. Так как при малых  $m$   $h_m \ll a$ , из равенства (1) получим

$$r_m^2 = 2ah_m.$$

Подставив сюда значение (2) для  $h_m$ , найдем радиус внешней границы  $m$ -й зоны Френеля:

$$r_m = \sqrt{m \frac{ab\lambda}{a+b}}. \quad (4)$$

Если положить  $a = b = 1$  м и  $\lambda = 0,5$  мкм, то для радиуса первой зоны получится значение:  $r_1 = 0,5$  мм. Радиусы последующих зон возрастают как  $\sqrt{m}$ .

Для нахождения амплитуды световой волны в точке  $B$  воспользуемся графическим методом сложения колебаний. С этой целью зону Френеля разбивают на равные по площади участки, столь малые, чтобы фаза колебаний, вызываемых в точке  $B$  различными вторичными источниками каждого участка, практически могла считаться постоянной. Тогда действие всего участка можно изобразить в виде вектора, длина которого дает суммарную амплитуду, а направление — начальную фазу колебаний. Действие соседнего участка можно изобразить вторым вектором, длина которого прак-

тически не будет отличаться от первого. Второй вектор будет несколько повернут относительно первого, так как фаза колебания, определяемого совокупностью источников второго участка, будет немного отличаться от фазы, задаваемой первым участком.

Действие ряда участков, составляющих первую зону, изобразится ломаной, представленной на рис. 3.

Если ширину участков устремить к нулю (количество их будет при этом неограниченно возрастать), то ломаная линия обратится в дугу, которая хотя и очень мало, но отличается от полуокружности, так как при переходе от участка к участку амплитуда убывает. Векторная диаграмма действия первой зоны представлена на рис. 4. Вектор  $OM_1$  выражает действие центральной зоны Френеля.

Рис. 5 представляет собой векторную диаграмму для первой и второй зон.  $OM_2$  — результирующий вектор. Дуга  $M_1M_2$  имеет несколько меньший поперечник вследствие возрастающего наклона зоны.

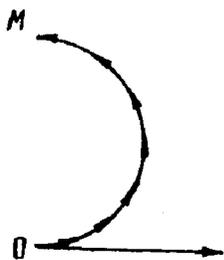


Рис. 3

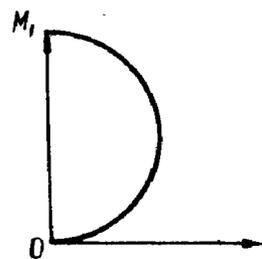


Рис. 4

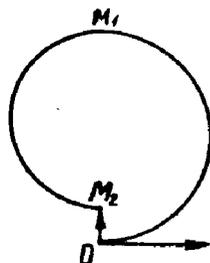


Рис. 5

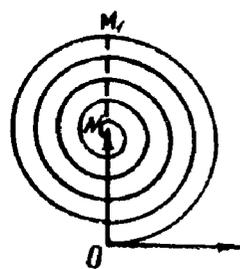


Рис. 6

Векторная диаграмма, изображающая действие всей волновой поверхности, представляет собой спираль, закручивающуюся к точке  $N$  (рис. 6).

Результирующая амплитуда выражается вектором  $ON$ . Заметим, что этот вектор равен половине вектора  $OM_1$ , выражающего действие центральной зоны, и совпадает с ним по направлению.

Рассмотренный метод графического сложения амплитуд позволяет решать простейшие задачи по дифракции света.

#### ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ И УСТАНОВКИ

Зонная пластинка представляет собой экран, у которого четные зоны Френеля непрозрачны, а нечетные прозрачны или, наоборот, четные зоны прозрачны, а нечетные непрозрачны (рис. 7).

Если на зонную пластинку  $Z_{пл}$  направить монохроматический свет от точечного источника  $A$ , находящегося на расстоянии  $a$  от пластинки, то в точке  $B$  экрана  $\mathcal{E}$ , расположенного на расстоянии  $b$  от нее, световые колебания, приходящие от всех прозрачных зон, будут иметь одинаковую фазу и, складываясь, дадут многократно повышенную интенсивность света по сравнению с тем, что было бы в случае отсутствия зонной пластинки (рис. 8).

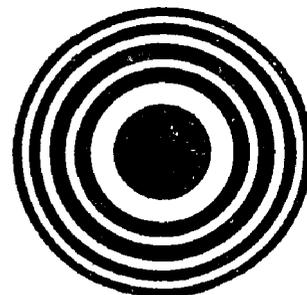


Рис. 7

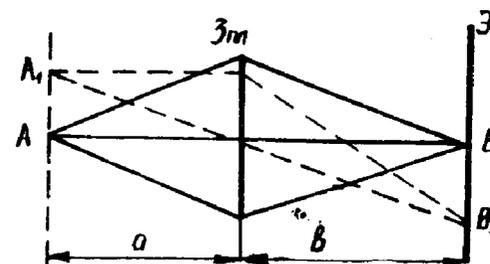


Рис. 8

Таким образом, зонная пластинка, подобно линзе, обладает фокусирующим действием.

Фокусирующее действие зонной пластинки будет иметь место и тогда, когда лучи падают на пластинку под углом (например, от источника  $A_1$ ). Следовательно, с помощью зонной пластинки можно получить изображение протяженных предметов.

Параллельный пучок лучей после дифракции от зонной пластинки собирается в точке, которая называется фокусом пластинки, а ее расстояние до пластинки — фокусным расстоянием  $f$ .

Фокусное расстояние зонной пластинки можно найти из формулы (4) для радиусов зон Френеля. Действительно, при  $a \rightarrow \infty$

$$b = \frac{r_m^2}{m\lambda} = f. \quad (5)$$

Используя выражения (4) и (5), получим

$$\frac{ab}{a+b} = f \quad (6)$$

или

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}. \quad (7)$$

Характерной особенностью зонной пластинки по сравнению с линзой является сильный хроматизм, так как фокусное расстояние ее пропорционально  $1/\lambda$ . Хроматизм — это искажение, в силу которого даже для парааксимальных лучей некогерентный пучок имеет целую совокупность фокусов вдоль оптической оси. В соответствии с этим точка на оси изображается цветными круж-

ками, относительные размеры которых зависят от местоположения экрана.

Оптическая схема установки приведена на рис. 9.

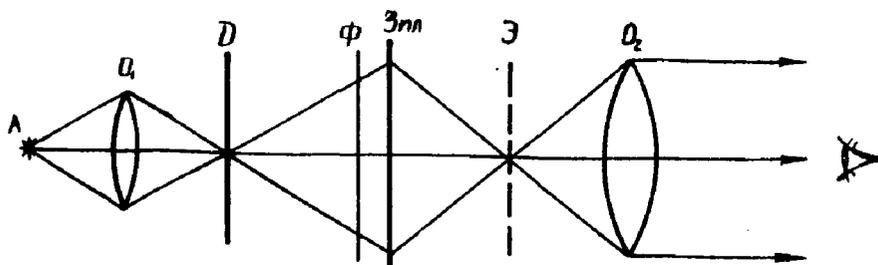


Рис. 9

Непрозрачный экран  $D$  с крестообразным вырезом освещается с помощью конденсора  $O_1$ , ртутной лампой  $A$ . Лучи, проходя через фильтр  $\Phi$  и зонную пластинку  $Z_{пл}$ , создают изображение этого креста в плоскости  $\mathcal{E}$ , которое рассматривается с помощью окуляра микроскопа  $O_2$ .

**ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

*Определение радиусов колец зонной пластинки.*

Измерьте внешние диаметры  $d_m$  первых пяти темных и светлых колец зонной пластинки, приписывая им соответственно нечетные и четные порядковые номера. Для измерения используется микроскоп МБР-1 или МБУ-4. Порядок измерения указан на установке.

Диаметр кольца  $d_m$  находится как разность двух отсчетов  $N_1$  и  $N_2$ , сделанных при совпадении визирной линии с внешним контуром кольца в диаметрально противоположных точках. Затем определяется радиус кольца  $r_m$ .

Все измерения занести в табл. 1.

Таблица 1

Номер кольца, $m$	Вид кольца	$N_1$	$N_2$	$d_m$ , мм	$r_m$
1	Темное				
2	Светлое				
3	Темное				
4	Светлое				
5	Темное				

*Определение длины световой волны с помощью зонной пластинки*

1. Установить зонную пластинку и светофильтр на оптической скамье.

2. Включить ртутную лампу и, перемещая зонную пластинку, добиться того, чтобы в поле зрения окуляра было отчетливо видно яркое, резкое, увеличенное изображение креста.

3. Измерить расстояния от диафрагмы до зонной пластинки  $a$  и от зонной пластинки до фокальной плоскости окуляра  $b$ .

4. Вычислить фокусное расстояние зонной пластинки по формуле (7).

5. Смещая и вновь устанавливая зонную пластинку, повторить опыт 5 раз.

6. Вычислить длину световой волны  $\lambda$  по формуле

$$\lambda = \frac{r_m^2}{mf},$$

где  $f$  — среднее значение фокусного расстояния зонной пластинки для данной длины волны.

Все результаты записать в табл. 2.

Таблица 2

Номер кольца $m$	$r_m$ , мм	$a$ , мм	$b$ , мм	$f$ , мм	$\lambda_m$ , мм	$\Delta \lambda_m$ , мм	$(\Delta \lambda_m)^2$
1							
2							
3							
4							
5							
Среднее значение	×						×

7. Вычислить среднеквадратичную погрешность результата среднего арифметического

$$S_{\bar{\lambda}} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^n (\Delta \lambda_m)^2}{n(n-1)}}.$$

8. Оценить абсолютную погрешность результата серии измерений

$$\Delta \lambda = t_{\alpha, n} S_{\bar{\lambda}},$$

где  $t_{\alpha, n}$  — коэффициент Стьюдента, зависящий от числа произведенных измерений  $n$  и величины надежности  $\alpha$ .

9. Окончательный результат записать в виде

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm \Delta\lambda, \quad \varepsilon = \frac{\Delta\bar{\lambda}}{\bar{\lambda}} 100\%.$$

Погрешности, обусловленные погрешностями приборов, в данной работе можно не учитывать, так как они меньше случайных.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Почему вторичные источники когерентны?
3. Какое явление называется дифракцией света?
4. Каким должен быть размер экрана или отверстия в диафрагме, чтобы наблюдалась дифракция Френеля?
5. Объясните метод построения зон Френеля.
6. Объясните принцип действия зонной пластинки.
7. Можно ли с помощью зонной пластинки получить изображение протяженных предметов?
8. Сделайте вывод формулы для радиусов зон Френеля.
9. Что называется фокусом зонной пластинки?
10. Как изменяется фокусное расстояние зонной пластинки с изменением длины световой волны?

### ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И. В. Курс общей физики. — М.: Наука, 1978, т. 2, с. 375—380.
2. Ландсберг Г. С. Оптика. — М.: Наука, 1976, с. 155—160.
3. Корсунский М. И. Оптика. Строение атома. Атомное ядро. — М.: Наука, 1967, с. 44—50.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

Приборы и принадлежности: гониометр; дифракционная решетка; источник света, дающий линейчатый спектр (ртутная лампа или спектральная трубка).

### ОПИСАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РАБОТЕ

#### 1. Дифракция Фраунгофера от щели

Пусть на бесконечно длинную узкую щель падает плоская световая волна (рис. 1). Поместим за щелью собирательную линзу, а в фокальной плоскости линзы — экран. Разобьем часть падающей волны, которая проходит через щель, на параллельные краям щели элементарные зоны шириной  $dx$ .

Вторичные волны, посылаемые этими зонами под углом к оптической оси линзы, соберутся в некоторой точке экрана  $P$ , где интерферируя между собою, возбудят суммарное колебание оптического вектора.

Амплитуда результирующего колебания в точке  $P$ , как показывают расчеты [1].

$$A_{\varphi} = \left| A_0 \frac{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \varphi\right)}{\frac{\pi}{\lambda} b \sin \varphi} \right|, \quad (1)$$

где  $b$  — ширина щели;  $\lambda$  — длина световой волны;  $A_0$  — алгебраи-

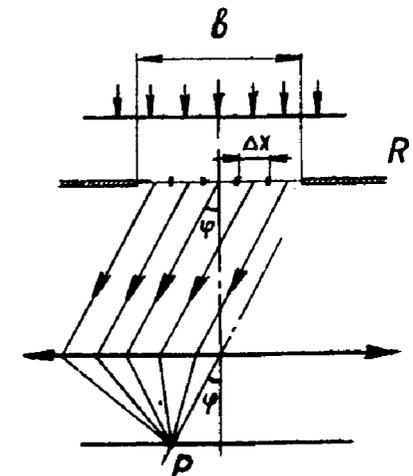


Рис. 1

ческой сумма амплитуд колебаний, посылаемых в данном направлении всеми элементарными зонами.

Равенство (1) показывает, что освещенность экрана зависит от угла дифракции  $\varphi$ .  $A_\varphi$  обращается в нуль для углов  $\varphi$ , удовлетворяющих условию

$$\frac{\pi}{\lambda} b \sin \varphi = \pm k \pi, \quad \text{где } k = 1, 2, 3 \dots,$$

т. е. при  $\sin \varphi = \pm k \frac{\lambda}{b}$ . (2)

Интенсивность света пропорциональна квадрату амплитуды

$$I_\varphi = k A_\varphi^2.$$

Следовательно,

$$I_\varphi = \frac{I_0 \sin^2 \left( \frac{\pi}{\lambda} b \sin \varphi \right)}{\left( \frac{\pi}{\lambda} b \sin \varphi \right)^2} \quad (3)$$

Функция распределения интенсивности (3) представлена графически на рис. 2.

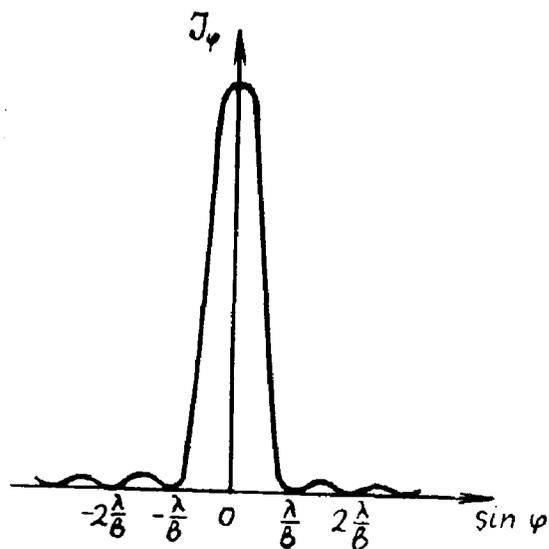


Рис. 2

## 2. Дифракционная решетка

Дифракционной решеткой называется совокупность большого числа щелей одинаковой ширины, отстоящих друг от друга на одно

и то же расстояние. Обозначим ширину каждой щели буквой  $b$ , а ширину непрозрачного промежутка между щелями  $a$ . Сумма  $a + b = d$  называется периодом или постоянной дифракционной решетки.

Рассмотрим прохождение света через дифракционную решетку. Пусть параллельный пучок монохроматического света падает на дифракционную решетку  $R$  по направлению нормали к ее плоскости (рис. 3).

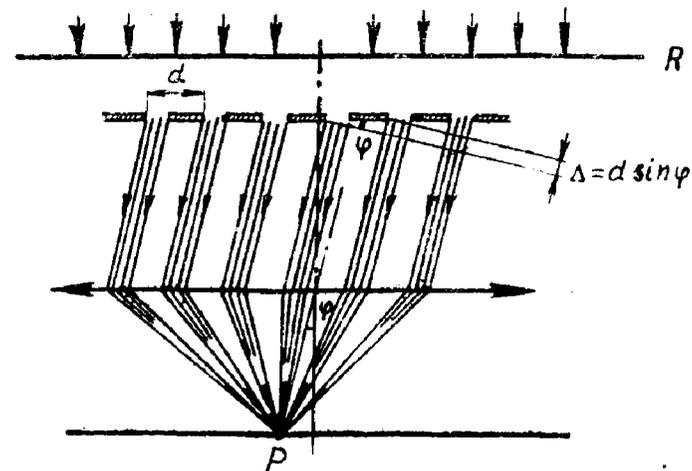


Рис. 3

Расположим параллельно решетке собирающую линзу, в фокальной плоскости которой поставим экран. Каждая из щелей даст на экране картину, описываемую графиком, изображенным на рис. 2. Если бы колебания, приходящие в точку  $P$  от различных щелей, были некогерентными, то результирующая дифракционная картина отличалась бы от картины, создаваемой одной щелью лишь тем, что освещенность во всех точках возросла бы в  $N$  раз ( $N$  — число щелей). Однако световые пучки, приходящие в точку  $P$  от различных щелей, являются когерентными, поэтому для нахождения результирующей интенсивности необходимо учитывать явление интерференции между пучками света.

Рассмотрим лучи, составляющие угол  $\varphi$  с нормалью к решетке. Разность хода между лучами, идущими от соседних щелей, может быть определена из рис. 3:

$$\Delta = d \sin \varphi. \quad (4)$$

Если эта разность хода равна целому числу длин волн

$$\Delta = \pm m \lambda, \quad (5)$$

то в соответствующих точках экрана будут наблюдаться максимумы интенсивности. Эти максимумы называются главными. Из (4) и (5) получаем условие, определяющее положение главных максимумов на экране

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (6)$$

Условие минимумов для одной щели  $\sin \varphi = \pm k \lambda / b$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ) сохраняется и для решетки.

Положение главных максимумов, как это видно из формулы (6), зависит от длины волны света. Поэтому при освещении решетки монохроматическим светом все главные максимумы, кроме нулевого образуют спектры.

Определяя угол дифракции для какой-либо спектральной линии, можно вычислить длину волны света для этой линии.

### ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

При выполнении работы используется гониометр УГ-3. Он состоит из коллиматора  $L$  (рис. 4), укрепленного неподвижно на горизонтально расположенном металлическом диске  $D$ . На этом же диске имеются два диаметрально противоположных угловых нониуса. Вдоль кромки диска скользит лимб—кольцо с делениями, ось которого совпадает с осью диска. По нему с помощью угловых нониусов производится отсчет углов дифракции.

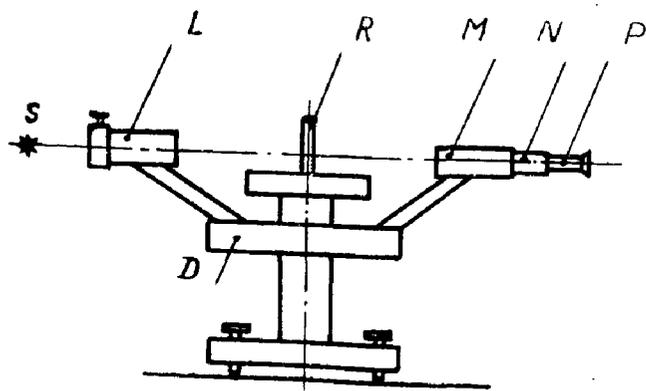


Рис. 4

С лимбом скреплена зрительная труба, состоящая из трех частей: трубы  $M$ , в которой находится объектив; трубы  $N$ , в передней части которой расположена нить; трубы  $P$ , свободно двигающейся в трубе  $N$  вдоль ее оси. В конце трубы  $P$  находится окуляр зрительной трубы. Выше диска  $D$ , коаксиально с ним, расположен

свободно вращающийся вокруг оси гониометра столик, на который ставится дифракционная решетка  $R$ .

Назначение коллиматора — создавать параллельный пучок света. Коллиматор состоит из наружного тубуса, в котором укреплена линза и внутреннего тубуса с вертикальной щелью. Эта щель должна быть параллельна штрихам дифракционной решетки.

Если установить щель в фокальной плоскости коллиматорной линзы и направить на нее свет вдоль оптической оси, то из объектива зрительной трубы будет выходить пучок света, который в результате действия дифракционной решетки образует дифракционную картину в фокальной плоскости объектива зрительной трубы. Ее можно увидеть с помощью окуляра.

### УКАЗАНИЯ К ПОЛЬЗОВАНИЮ НОНИУСОМ

Нониус — небольшой длины шкала, позволяющая увеличить точность отсчета угла по лимбу. Для нахождения численного значения отсчета необходимо выполнить следующие операции:

1. Определить цену деления лимба. В лаборатории обычно применяются гониометры с ценой деления лимба  $20'$  и  $30'$ .

2. Найти штрих нониуса, отмеченный цифрой 0, и сделать отсчет по шкале лимба относительно этого штриха. При этом следует иметь в виду особенности кругового лимба:

а) оцифровка делений лимба может быть выполнена как по часовой, так и против часовой стрелки;

б) деление  $360^\circ$  и  $0^\circ$ ,  $370^\circ$  и  $10^\circ$  и т. д. совпадают. Поэтому, если в каком-либо цикле измерений получают значения отсчетов по разные стороны от  $360^\circ$ , то их надо записывать в таблицы одинаковым образом. Например:  $\varphi_1 = 358^\circ 35'$ ;  $\varphi_2 = 362^\circ 48'$  (а не  $2^\circ 48'$ !).

3. Если нулевой штрих совпадает с каким-либо делением лимба, то отсчет получится сразу по шкале лимба. Если же нулевой штрих нониуса не совпадает с каким-либо делением лимба, то значение отсчета округляется до ближайшего наименьшего значения, прочитанного по шкале лимба.

4. Перемещая взгляд вдоль границы раздела лимба и нониуса, начиная от нулевого штриха нониуса, найти деление нониуса, совпадающее с каким-либо делением лимба.

Отсчет по нониусу, соответствующий этому делению, необходимо прибавить к значению, найденному согласно п. 3.

### Примеры:

1. Значение отсчета по лимбу с нониусом, изображенном на рис. 5,а, равно  $354^\circ 18'$ . Шкала лимба оцифрована по часовой стрелке. Цена деления лимба  $30'$ , цена деления нониуса  $1'$ .

2. Значение отсчета по лимбу с нониусом, изображенном на рис. 5,б, равно  $2^\circ 48'$  (или  $362^\circ 48'$ ). Шкала лимба оцифрована про-

тив часовой стрелки. Цена деления лимба 20', цена деления нониуса 0,5'.

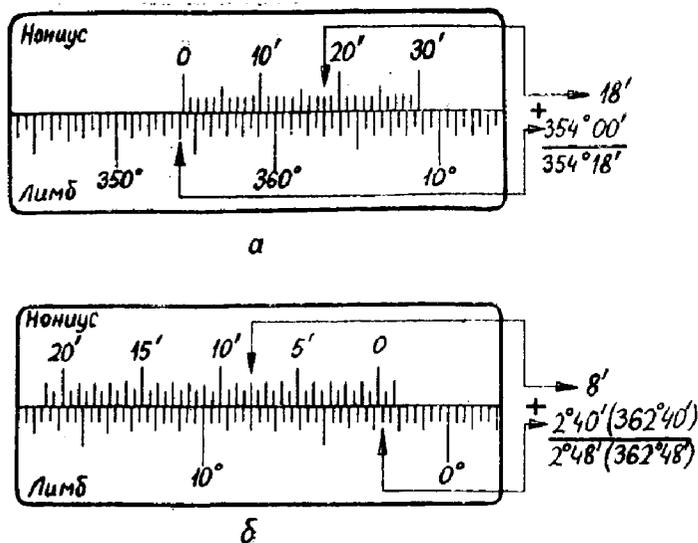


Рис. 5

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Проверить установку дифракционной решетки на столике гониометра. Штрихи решетки должны быть вертикальными, и пучок света, выходящий из коллиматора, должен падать на нее нормально. Установка решетки производится на глаз.

Вращая зрительную трубу, нужно убедиться, что справа и слева от нулевого максимума хорошо видны по меньшей мере спектры 1-го и 2-го порядка. Если с одной стороны спектры видны слабо, то, немного поворачивая решетку вокруг вертикальной оси и перемещая ее на столике, следует добиться одинаково хорошей видимости спектров с обеих сторон.

2. Поворачивая трубу, установить визирную нить трубы на определенную линию (по указанию преподавателя) в правом спектре первого порядка. Провести отсчет угла  $n_1$  по одному нониусу.

3. Перевести трубу в новое положение, установив визирную нить на ту же линию в левом спектре первого порядка, и снова записать показание нониуса  $n_2$ .

4. Вычислить значение угла дифракции  $\varphi$  для данной линии в спектре первого порядка:

$$\varphi_1 = \frac{n_2 - n_1}{2}.$$

5. Повторить измерение углов дифракции.

6. Аналогичным образом найти углы дифракции для той же линии в спектре второго и, если возможно, третьего порядка.

7. По полученным значениям  $\varphi_m$  вычислить длину волны по формуле

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

8. Найти среднее арифметическое полученных значений

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

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

Номер измерений	Цвет линии	$m$	$n_1$	$n_2$	$\varphi_m$	$\lambda$ , мкм	$\bar{\lambda}$ , мкм
1							
2							
3							

9. Оценить случайную погрешность измерения.

10. Окончательный результат записать в виде

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

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое явление называется дифракцией света?
2. Каково условие главных максимумов при нормальном падении света на дифракционную решетку?
3. В каких направлениях наблюдаются главные минимумы?
4. Получите условие главных максимумов при наклонном падении света на дифракционную решетку.
5. Объясните получение дифракционных спектров.
6. Почему спектры, полученные от дифракционной решетки, обращены к нулевому максимуму фиолетовой частью?
7. Какой наибольший порядок спектра можно увидеть при помощи дифракционной решетки, имеющей 500 линий на 1 мм, если пользоваться светом с длиной волны  $\lambda = 0,590$  мкм?
8. Показать, что если период решетки  $d$  соизмерим с шириной щели  $b$ , так что  $d = nb$ , то в спектре решетки исчезают все максимумы, номера которых кратны числу  $n$ .

### ЛИТЕРАТУРА

Савельев Н. В. Курс общей физики. — М.: Физматгиз, 1982. т. 2.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА МЕЛКИХ ЧАСТИЦ ПРИ ПОМОЩИ ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА

Цель работы: получение дифракционной картины от хаотически распределенных непрозрачных мелких частиц и ее использование для нахождения геометрических размеров частиц.

Приборы и принадлежности: пакет из двух стеклянных пластин с мелкими частицами, оптическая скамья, оптический квантовый генератор — лазер непрерывного излучения, непрозрачный экран.

#### ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Измерение размеров мелких частиц диаметром в несколько микрометров является сложной задачей вследствие невозможности применения обычных универсальных средств (микроскопа, проектора, контактных приборов), дающих погрешности порядка 1—2 мкм, т. е. соизмеримые с размером частиц.

Задача может быть решена дифракционным методом.

Если на малую круглую частицу направить монохроматический коллимированный пучок лучей от лазера, то на экране при достаточно большом удалении его от частицы вследствие дифракции Фраунгофера возникает периодическое распределение интенсивности света в виде концентрических колец — дифракционных максимумов и минимумов.

Если в пучок лучей попадает  $N$  частиц, то все частицы дадут одинаковые дифракционные картины, налагающиеся друг на друга в плоскости экрана. Контраст дифракционной картины при этом усилится в  $N$  раз.

Расчет дифракционной картины для этого случая дает условия максимумов:

$$r \sin \varphi_0 = 0; \quad r \sin \varphi_2 = 0,81 \lambda; \quad r \sin \varphi_4 = 1,33 \lambda. \quad (1)$$

Условия минимумов:

$$r \sin \varphi_1 = 0,61 \lambda; \quad r \sin \varphi_3 = 1,12 \lambda; \quad r \sin \varphi_5 = 1,33 \lambda. \quad (2)$$

Здесь  $\varphi_k$  — углы дифракции ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ),  $r$  — радиусы частицы,  $\lambda$  — длина волны излучения гелий-неонового лазера. Установка собрана на оптической скамье по схеме рис.

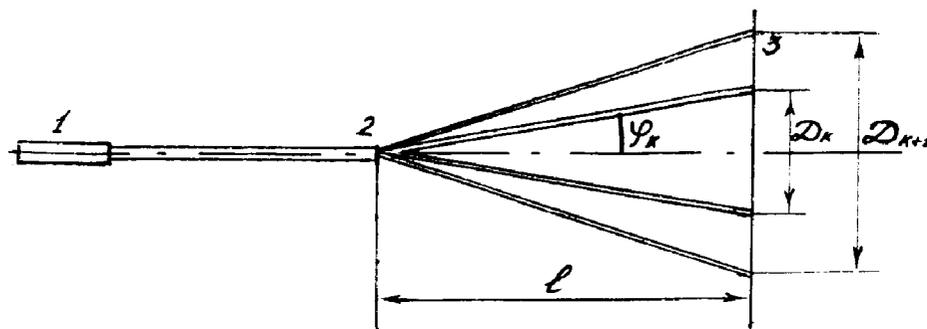


Рис.

Луч света от лазера 1 попадает на пакет 2 из двух стеклянных пластин с мелкими частицами между ними. В качестве мелких круглых частиц берутся споры растения плауна — лycopодия. Их напыляют на одну из пластин и закрывают второй пластиной, не прижимая их. Этот пакет вставляется в рейтер, который может перемещаться вдоль оптической скамьи. Непрозрачный экран 3 также вставляется в другой рейтер. На оптической скамье укрепляется шкала с ценой деления 1 мм.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Проверить расположение приборов на оптической скамье, как показано на рис.

2. Включить лазер и, установив расстояние от пакета с частицами до экрана  $l = 400 \div 600$  мм, получить четкую дифракционную картину.

3. Измерить диаметры первых трех темных колец  $D_k$ .

4. Вычислить синусы углов дифракции по формуле:

$$\sin \varphi_k = \frac{D_k}{2l}$$

5. Рассчитать по формулам (2) радиусы частиц, получив не менее трех значений.

6. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

Номер кольца	$l$ , мм	$D_k$ , мм	$\sin \varphi_k$	$r_k$ , мм	$\bar{r}$ , мм	$\Delta r_i^2$
1						
2						
3						

7. Рассчитать случайную погрешность результата измерений

$$\Delta r = t_{\alpha, n} S_r$$

8. Записать окончательный результат измерений в виде:

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

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать классификацию дифракционных явлений и записать условия их наблюдения.
2. Какое оптическое явление называется дифракцией света?
3. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
4. Объяснить метод построения зон Френеля.
5. Каким образом в данной работе добиваются условий, удовлетворяющих дифракции Фраунгофера.
6. Нарисовать схему установки и описать метод эксперимента.
7. Объяснить почему частицы должны быть распределены хаотично.
8. Записать условия максимумов и минимумов дифракции от круглого диска.

#### ЛИТЕРАТУРА

Сивелов И. В. Курс общей физики. М.: Наука, 1982, т. 2.

Составители: Петр Яковлевич Нечаев, Вера Петровна Кабанова,  
Наталья Викторовна Орлова

#### ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Редактор Т. К. Кретьнина  
Техн. редактор Н. М. Каленюк  
Корректор

Сдано в набор 15.08.84 г. Подписано в печать 12.10.84 г.  
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная белая. Гарнитура литературная  
Печать высокая. Усл. п. л. Уч.-изд. л. Т. 2000 экз.  
Заказ 661. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. С. П. Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.