

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования Томский государственный
университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

Кафедра физики

**ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА
(ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЁТКА)**

Руководство к лабораторной работе по физике
для студентов всех специальностей

2019

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования Томский государственный
университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. каф физики

_____ Е.М.Окс
14 января 2019 г.

**ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА
(ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЁТКА)**

Руководство к лабораторной работе по физике
для студентов всех специальностей

Разработчик:
Доцент каф. физики
_____ Ю.А. Бурачевский
14 января 2019 г.

ВВЕДЕНИЕ

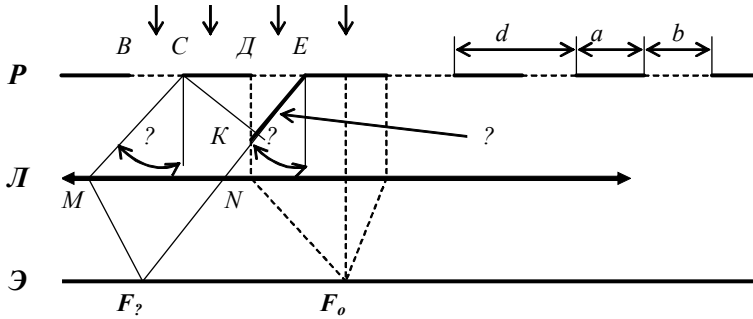
Дифракцией называется совокупность явлений, которые обусловлены волновой природой света и наблюдаются при его распространении в среде с резкими неоднородностями, размеры которых сравнимы с длиной волны (например, вблизи границ непрозрачных и прозрачных тел, сквозь малые отверстия и т.п.) и связанных с отклонениями от законов геометрической оптики. Дифракция, в частности, приводит к огибанию световыми волнами препятствий и проникновению света в область геометрической тени.

Одним из устройств, обладающих резкими оптическими неоднородностями, является дифракционная решётка. Она представляет собой совокупность большого числа одинаковых, отстоящих друг от друга на одно и то же расстояние щелей.

Целью данной работы является изучение дифракции света на прозрачной одномерной дифракционной решётке, в частности, необходимо определить постоянную решётки и число штрихов, приходящихся на единицу длины решётки.

1 КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Рассмотрим дифракцию света на прозрачной одномерной дифракционной решётке (рис. 1.1). Расположим параллельно дифракционной решетке собирающую линзу L , в фокальной плоскости которой поместим экран \mathcal{E} . Рассмотрим характер дифракционной картины, получаемой на экране при нормальном падении на решетку плоской монохроматической волны. Каждая из щелей даёт на экране картину, описываемую кривой, изображённой на рис. 1.2. Картины от всех щелей придут в одно и то же место экрана.



P – дифракционная решетка, $Л$ – линза, $Э$ – экран, d – период решетки, b – ширина щели, a – ширина непрозрачной перемычки.

Рисунок 1.1 – Оптическая схема дифракции света на решетке

Независимо от положения щели центральный максимум лежит на оптической оси линзы в точке F_0 и называется максимумом нулевого порядка. В произвольной точке F_φ соберутся все лучи, падающие на линзу под углом дифракции φ (см. рис. 1.1).

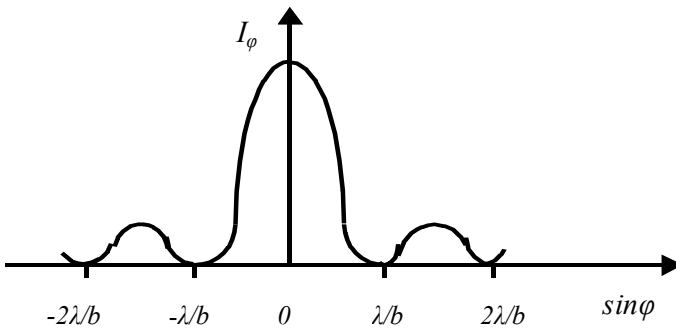


Рисунок 1.2 – Зависимость интенсивности света при дифракции от одной щели от синуса угла дифракции φ

Главные максимумы наблюдаются тогда, когда на длине оптической разности хода между соседними лучами от соседних щелей Δ укладывается чётное число полуволен или целое число волн.

$$EK = \Delta = CE \cdot \sin\varphi \quad (1.1)$$

или

$$\Delta = d \cdot \sin\varphi \quad (1.2)$$

и

$$d \cdot \sin\varphi = \pm n\lambda, \quad (1.3)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$, порядок главного максимума.

Максимум нулевого порядка ($n = 0$) только один. Максимумов более высоких порядков будет по два (например, $n = \pm 1$). Таким образом общее число главных максимумов будет равно $2n + 1$. Для направлений, определяемых условием (1.3), колебания от отдельных щелей взаимно усиливают друг друга, так как приходят в точку F_φ в фазе, вследствие чего максимальная амплитуда результирующего колебания

$$A_{\text{макс}} = N \cdot A_\varphi, \quad (1.4)$$

где A_φ – амплитуда, создаваемая отдельной щелью в точке F_φ ;
 N – общее число щелей.

Интенсивность главных максимумов $I_{\text{макс}}$ в N^2 раз больше интенсивности I_φ , создаваемой одной щелью в точке F_φ .

$$I_{\text{макс}} = N^2 \cdot I_\varphi. \quad (1.5)$$

Амплитуда колебаний от каждой щели обращается в нуль при

$$b \cdot \sin\varphi = \pm k\lambda, \quad (1.6) \text{ где}$$

$k = 1, 2, 3, \dots$, порядок главного минимума.

Выражение (1.6) является условием главных минимумов. Если для одной щели будет наблюдаться минимум, то и для совокупности щелей также будет наблюдаться минимум.

Кроме главных минимумов, определяемых условием (1.6), в промежутках между соседними главными максимумами имеется $N - 1$ добавочный минимум. Эти минимумы возникают в тех направлениях, для которых колебания от

отдельных щелей взаимно поглощают друг друга. Между дополнительными минимумами располагаются слабые вторичные максимумы. Их число в промежутке между соседними главными максимумами равно $N - 2$, а их интенсивность не превышает $1/22$ интенсивности ближайшего главного максимума.

На рис. 1.3 приведён вид дифракционной картины для $N = 4$ и $d/b = 3$.

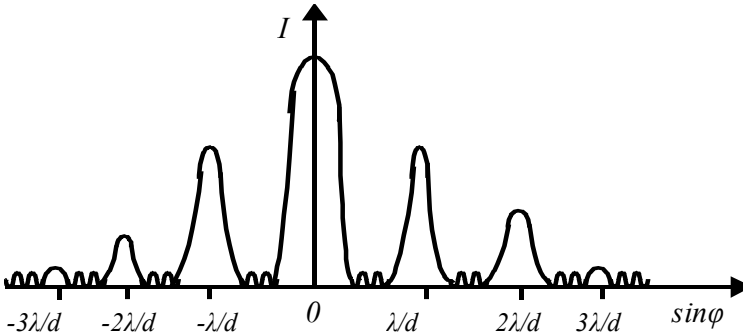


Рисунок 1.3 – Дифракционная картина

Как видно из выражения (1.3), положение главных максимумов зависит от длины волны λ . Поэтому при пропускании через дифракционную решётку белого света, все максимумы, кроме центрального, разложатся в спектр, фиолетовый конец которого обращён к центру дифракционной картины, а красный – наружу. Таким образом, дифракционная решётка является спектральным прибором.

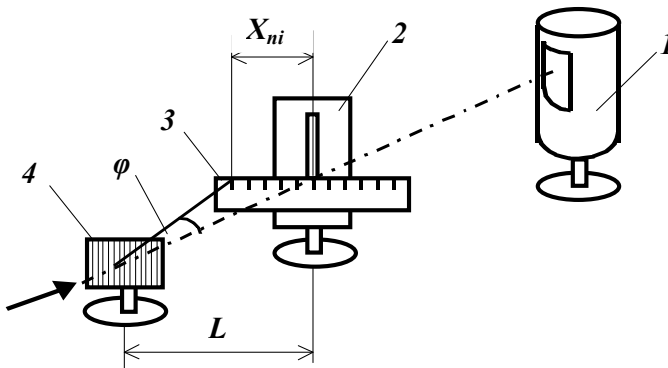
С увеличением n (порядка главного максимума) угол дифракции φ также увеличивается. Это приводит к тому, что наблюдать максимумы больших порядков в белом свете нельзя, так как уже спектры второго и третьего порядков частично перекрываются и дифракционная картина смазывается.

Качество дифракционной картины (интенсивность спектральных линий и их ширина) существенно зависят от количества щелей на решётке – N . С ростом N интенсивность линий, как следует из формулы (1.5), возрастает, а ширина линий убывает. Качество дифракционной решётки характеризуется разрешающей способностью

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = n \cdot N \quad (1.7)$$

2 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Дифракция света на прозрачной дифракционной решётке исследуется на экспериментальной установке, изображённой на рис. 2.1.



- 1 – ртутная лампа;
- 2 – коллиматор;
- 3 – линейка;
- 4 – дифракционная решётка.

Рисунок 2.1 – Схема экспериментальной установки

В качестве источника света используется ртутная лампа (1) с линейчатым спектром излучения. Для получения плоской волны используется коллиматор – узкая щель (2), которая вырезает пучок света с фронтом волны, практически параллельным плоскости дифракционной решётки (4). Дифракционная картина наблюдается визуально на линейке (3) в плоскости коллиматора. Спектр излучения ртутной лампы приведён в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Спектр излучения ртутной лампы

№ п/п	Линия (цвет)	λ , нм
1	Фиолетовая 1	404,7
2	Фиолетовая 2	407,8
3	Синяя	435,8
4	Голубая	491,6
5	Зелёная	546,1
6	Жёлтая 1	577,0
7	Жёлтая 2	579,1
8	Красная 1	623,4
9	Красная 2	690,7

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Собрать экспериментальную установку, изображённую рис. 2.1.

Примечание. Ртутную лампу без стеклянного фильтра не включать!

3.2. Добиться чёткой дифракционной картины на линейке в плоскости коллиматора, изменяя ширину щели и расстояния между источником света и коллиматором, коллиматором и дифракционной решёткой.

3.3. Измерить по шкале линейки расстояние X_{ni} от центра щели до наблюдаемых главных максимумов определённого порядка и цвета. Результаты занести в таблицу 3.1 в виде

$$X_{ni} = X(n, \lambda_i), \quad (3.1)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$ порядок главного максимума;

λ_i – длина волны наблюдаемого цвета для определённого порядка дифракционного максимума (длины волн берутся из табл. 2.1).

Таблица 3.1 – Расстояния от центра щели

n	$X(n, \lambda_1)$	$X(n, \lambda_2)$	$X(n, \lambda_3)$
1			
2			
3			

4 ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Направления, под которыми наблюдаются максимумы, определяется углом φ (см. рис. 2.1), а

$$\varphi = \arctg X_{ni}/L. \quad (4.1)$$

Учитывая, что $X(n, \lambda_i) \ll L$, можно считать $\tg \varphi = \sin \varphi$. Тогда по известным $X(n, \lambda_i)$ из таблицы 3.1 и L вычисляем синусы углов, под которыми наблюдаются главные максимумы, по формуле

$$\sin \varphi_{ni} = X(n, \lambda_i)/L. \quad (4.2)$$

Но с другой стороны, $d \cdot \sin \varphi = n \cdot \lambda$. Поэтому для графического определения постоянной дифракционной решётки d запишем в табл. 4.1 произведения порядка главного максимума и соответствующей длины волны, а также соответствующие им значения синусов углов.

Таблица 4.1 – Расчётные данные

$n \cdot \lambda_i$									
$\sin \varphi_{ni}$									

Используя данные табл. 4.1, построить график зависимости $\sin \varphi$ от $n \cdot \lambda$. Убедиться в линейности этой зависимости, т.е. в справедливости выражения (1.3). Определить период дифракционной решётки d , учитывая, что угловой коэффициент наклона прямой равен $1/d$ (см. рис. 4.1), т.е.

$$\frac{\Delta(n \cdot \lambda)}{\Delta \sin \varphi} = d. \quad (4.1)$$

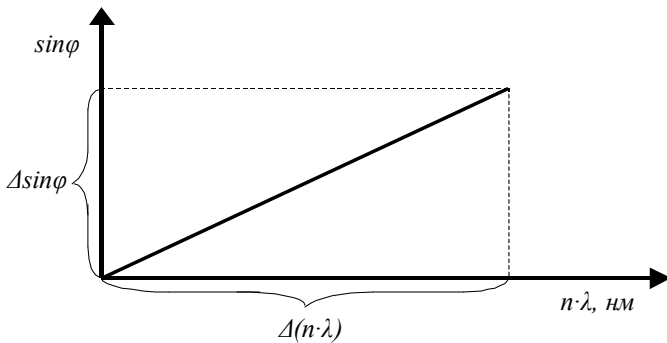


Рисунок 4.1 – Зависимость синуса угла от произведения порядка главных максимумов и длины волны

5 ЗАДАНИЕ

5.1 Экспериментально проверить справедливость выражения (1.3) для главных максимумов дифракции.

5.2 График зависимости $\sin \varphi$ от $n \cdot \lambda$ построить, используя метод наименьших квадратов.

5.3 Определить период дифракционной решётки d , число штрихов на миллиметр и общее число штрихов дифракционной решётки.

5.4 Вычислить ошибку определения периода дифракционной решётки.

5.5 Определить разрешающую способность данной дифракционной решётки.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1 Что называется дифракцией света?

6.2 Сформулируйте условия образования главных максимумов и минимумов интенсивности света в дифракционной решётке.

6.3 На дифракционную решётку падает нормально белый свет. Какой вид имеет дифракционный спектр?

6.4 Какие приборы и инструменты необходимы для выполнения данной лабораторной работы?

6.5 Как определяется синус угла в выражении для главных максимумов?

6.6 Какие измерения Вы должны провести в процессе выполнения лабораторной работы?

6.7 Что называется периодом дифракционной решётки?

6.8 От чего зависит положение главного максимума определённого порядка в дифракционной картине?

6.9 Как изменится интенсивность главных максимумов с увеличением числа щелей в дифракционной решётке при прочих равных условиях?

6.10 Что характеризует разрешающая способность дифракционной решётки?

6.11 Что такое перекрытие спектров n и $n + 1$ порядков в дифракционной картине?

7 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

7.1 Савельев И.В. Курс общей физики. Т 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – М.: Наука, 1978. – 480 с.

7.2 Чужков Ю. П. Общие требования и правила оформления отчёта по лабораторной работе по физике. Методические указания. – Томск: ТУСУР, 2001. – 19 с.

7.3 Мухачёв В. А. Оценка погрешности измерений. Методические указания. – Томск: ТУСУР, 1991. – 21 с.