



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Лабораторная работа О-29 «Определение длины волны лазерного излучения»

по дисциплине

«Физика»

Авторы
Беликова Т. С.,
Мардасова И. В.,
Шкиль Т. В.

Ростов-на-Дону, 2020

Аннотация

Лабораторная работа содержит краткое описание теории, установки и методики экспериментального определения длины волны лазерного излучения.

Практикум предназначен для студентов инженерных специальностей всех форм обучения, в программу учебного курса которых входит выполнение лабораторных работ по физике (раздел «Оптика и атомная физика»).

Авторы

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Беликова Т.С.,

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Мардасова И.В.,

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Шкиль Т.В.



Оглавление

Введение	4
Краткая теория	4
Описание экспериментальной установки и методики выполнения работы	6
Порядок выполнения работы	8
Контрольные вопросы	11
Список литературы	12

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: определение периода дифракционной решётки; определение длины волны лазерного излучения с помощью дифракционной решётки.

Оборудование: гелий-неоновый ($He-Ne$) лазер, полупроводниковый лазер, дифракционная решётка, экран с миллиметровой шкалой, оптическая скамья с измерительной линейкой, источник питания.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Дифракцией света называется явление отклонения света от прямолинейного распространения, когда свет, огибая края отверстия или препятствия, заходит в область геометрической тени. Дифракция наблюдается, если размеры отверстия или препятствия соизмеримы с длиной волны λ .

Проникновение световых волн в область геометрической тени может быть объяснено с помощью принципа Гюйгенса-Френеля.

Принцип Гюйгенса-Френеля: каждая точка фронта волны является источником когерентных вторичных сферических волн, интерференция которых определяет результирующую волну в следующий момент времени (рис. 1). Амплитуда вторичной сферической волны пропорциональна величине площади волновой поверхности, излучающей эту волну. Максимум излучения вторичных волн происходит в направлении нормали к волновой поверхности.

Фронт волны – это геометрическое место точек, до которых распространились колебания к данному моменту времени t .

Геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе, называется волновой поверхностью.

На рис. 1 линия a_1b_1 соответствует положению фронта волны в момент времени t_1 , a_2b_2 – положение фронта в момент $t_1 + \Delta t$. Линии a_1b_1 и a_2b_2 являются волновыми поверхностями.

Дифракционной решеткой называется совокупность большого числа одинаковых, отстоящих друг от друга на одно и то же расстояние щелей. Общая ширина щели a и непрозрачного промежутка b называется *постоянной* (или *периодом*) *решетки* d (рис. 2):

$$d = a + b.$$

Период дифракционной решётки можно определить по формуле

$$d = \frac{1}{n},$$

где n – число щелей, приходящихся на единицу длины решётки.

Прозрачные дифракционные решетки обычно изготавливаются из стеклянных или кварцевых пластин, на поверхность которых наносится алмазным резцом ряд параллельных штрихов.

Если на решетку нормально к её поверхности падает плоская монохроматическая волна с длиной λ , то в центральную точку экрана линзой Л соберутся лучи, для которых угол дифракции $\varphi_0 = 0$, амплитуды их волн сложатся арифметически, и интенсивность центрального максимума будет наибольшей.

Лучи, идущие под углом φ к первоначальному направлению от соответствующих мест каждой из двух соседних щелей, обладают разностью хода $d \sin \varphi$ (рис. 2). Волны усиливают друг друга, если эта разность хода равна целому числу длин волн.

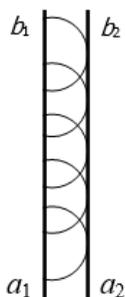


Рис. 1

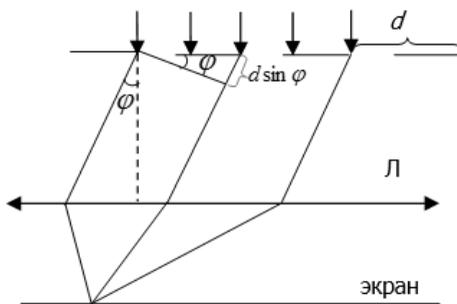


Рис. 2

Условие наблюдения главных максимумов:

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots - \text{порядок максимума.}$$

При $m = 0$ имеем центральный максимум, при $m = \pm 1$ – имеем два максимума 1-го порядка, симметрично расположенные относительно центрального, и т. д. (рис. 3).

Очевидно, что в тех направлениях, в которых ни одна из щелей не распространяет свет, он не будет распространяться и при N щелях, т. е. главные минимумы интенсивности определяются в соответствии с условием наблюдения минимумов при дифракции на щели [1]:

$$a \sin \varphi = \pm 2m \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad a \sin \varphi = \pm m \lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots).$$

Кроме того, вследствие взаимной интерференции световых лучей, посылаемых щелями, в некоторых направлениях они будут гасить друг друга, т. е. возникнут дополнительные минимумы.

Условие дополнительных минимумов:

$$d \sin \varphi = \pm m' \cdot \frac{\lambda}{N} \quad (m' \neq 0, N, 2N, \dots),$$

где m' может принимать все целочисленные значения, кроме $0, N, 2N, \dots$, т. е. кроме тех, при которых данное условие переходит в условие

главных максимумов.

В случае N щелей между соседними главными максимумами располагается $N-1$ дополнительных минимумов, разделенных вторичными максимумами, создающими весьма слабый фон. Чем больше щелей N , тем большее количество световой энергии пройдет через решетку, тем больше минимумов образуется между соседними главными максимумами, тем более интенсивными и более острыми будут максимумы (рис. 3).

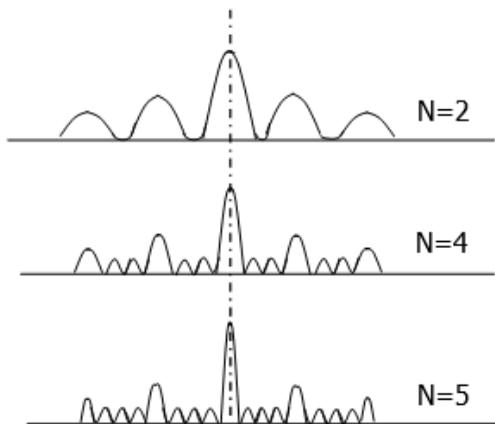


Рис. 3

При пропускании через решетку белого света все максимумы, кроме центрального ($m=0$), разлагаются в спектр, фиолетовая область которого будет обращена к центру дифракционной картины. Это позволяет использовать дифракционную решетку как спектральный прибор для исследования спектрального состава света (определения длин волн и интенсивностей всех монохроматических компонентов).

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Экспериментальная установка, представленная на рис. 4, состоит из оптической скамьи 1, на которой размещены полупроводниковый лазер 2, гелий-неоновый лазер 3, дифракционная решётка 4; экран с миллиметровой шкалой помещается после дифракционной решётки (рис.4).

Зеркала резонатора гелий-неонового лазера вынесены отдельными блоками 5 и 6; блок 7 служит для настройки лазера. Питание полупроводникового лазера осуществляется от сети, гелий-неонового – от источника питания 8; напряжение поджига ~ 8 кВ, рабочее напряжение ~ 2 кВ, оптимальный ток ~ 5 мА.

Физика

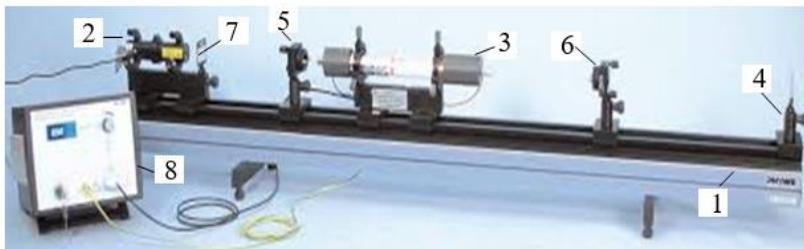


Рис. 4

На рис. 5 показано положение нескольких симметричных главных максимумов, наблюдающихся на экране после дифракции лазерного излучения на дифракционной решётке.

Условие наблюдения главных максимумов при дифракции на дифракционной решётке:

$$d \sin \varphi = m \lambda .$$

Как видно из рис. 5,

$$\sin \varphi = \frac{x}{\ell} ,$$

где $\ell = \sqrt{x^2 + L^2}$,

x – расстояние между максимумами нулевого и m -го порядка,

L – расстояние между экраном и дифракционной решёткой.

Следовательно,

$$\sin \varphi = \frac{x}{\sqrt{x^2 + L^2}} ,$$

$$\lambda = \frac{d \cdot \sin \varphi}{m} = \frac{d \cdot x}{m \sqrt{x^2 + L^2}} , \quad (1)$$

$$d = \frac{\lambda m \sqrt{x^2 + L^2}}{x} . \quad (2)$$

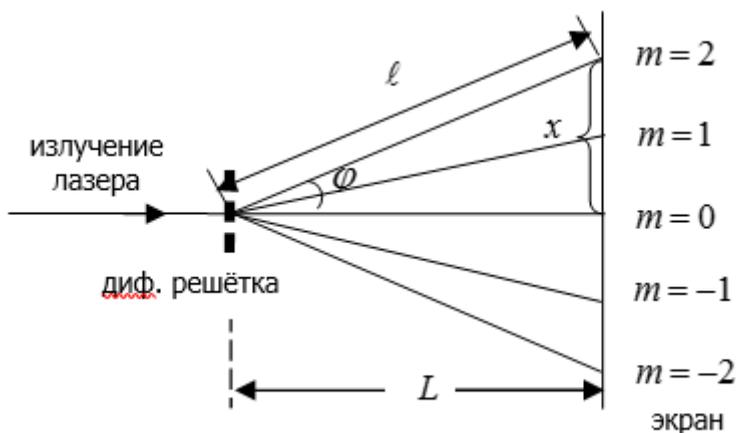


Рис. 5

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задание 1. Определение периода дифракционной решётки с помощью лазерного излучения

1. Включить один из лазеров с известной длиной волны излучения (по указанию преподавателя).
2. Перемещая дифракционную решётку по оптической скамье, добиться того, чтобы на экране наблюдалось по пять главных максимумов, симметрично расположенных относительно центрального ($m=0$); при этом положение центрального максимума должно соответствовать нулю измерительной шкалы. При необходимости настройку дифракционной картины по горизонтали осуществлять вращением диф. решётки в держателе.
3. С помощью измерительной шкалы определить расстояние x_m для пяти главных максимумов, расположенных слева (x_n) и справа (x_n) от центрального; данные занести в табл. 1.
4. С помощью линейки, расположенной на оптической скамье, определить расстояние L между экраном и дифракционной решёткой и занести его в табл. 1.
5. Выключить лазер.
6. Определить среднее значение $x = \frac{x_n + x_n}{2}$ для каждого m .
7. Рассчитать по формуле (2) период дифракционной решётки.

Таблица 1

		$\lambda =$		$m,$	$L =$		m
m	$x_2(m)$	$x_n(m)$	$x(m)$	$d(m)$	$\Delta d(m)$	$\delta d(\%)$	
1						X	
2							
3							
4							
5							
среднее							

8. Вычислить:

- среднее значение периода решётки $\langle d \rangle = \frac{d_1 + \dots + d_5}{5}$,
- абсолютные погрешности отдельных измерений $\Delta d_i = |\langle d \rangle - d_i|$,
- среднюю абсолютную погрешность $\langle \Delta d \rangle = \frac{\Delta d_1 + \dots + \Delta d_5}{5}$,
- относительную погрешность $\delta d = \frac{\langle \Delta d \rangle}{\langle d \rangle} \cdot 100\%$.

 9. Записать окончательный результат в виде: $d = \langle d \rangle \pm \langle \Delta d \rangle$.

Задание 2. Определение длины волны лазерного излучения

1. Включить второй лазер с неизвестной длиной волны излучения.
2. Перемещая дифракционную решётку по оптической скамье, добиться того, чтобы на экране наблюдалось по три главных максимума, симметрично расположенных относительно центрального ($m=0$); при этом положение центрального максимума должно соответствовать нулю измерительной шкалы.
3. С помощью измерительной шкалы определить расстояние x_m для трёх главных максимумов, расположенных слева (x_l) и справа (x_n) от центрального; данные занести в табл. 2.

Таблица 2

		$d =$		$m,$	$L =$		m
m	$x_2(m)$	$x_n(m)$	$x(m)$	$\lambda(m)$	$\Delta \lambda(m)$	$\delta \lambda(\%)$	
1						X	
2							
3							
среднее							

4. Выключить лазер.

Физика

5. Определить среднее значение $x = \frac{x_n + x_n}{2}$ для каждого m .

6. Рассчитать по формуле (1) длину волны лазерного излучения

$$\lambda = \frac{\langle d \rangle \cdot x}{m\sqrt{x^2 + L^2}}.$$

7. Вычислить:

– среднее значение длины волны $\langle \lambda \rangle = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}{3}$,

– абсолютные погрешности отдельных измерений $\Delta \lambda_i = |\langle \lambda \rangle - \lambda_i|$,

– среднюю абсолютную погрешность $\langle \Delta \lambda \rangle = \frac{\Delta \lambda_1 + \Delta \lambda_2 + \Delta \lambda_3}{3}$,

– относительную погрешность $\delta \lambda = \frac{\langle \Delta \lambda \rangle}{\langle \lambda \rangle} \cdot 100\%$.

8. Записать окончательный результат в виде: $\lambda = \langle \lambda \rangle \pm \langle \Delta \lambda \rangle$.

Задание 3. Рассчитать номер последнего максимума, который можно наблюдать с помощью данной решётки для обоих лазеров

Так как максимум наибольшего порядка в дифракционном спектре m_{\max} будет наблюдаться при максимальном значении $\sin \varphi$, а предельное значение $\sin \varphi = 1$, то из условия наблюдения главных максимумов следует:

$$d \approx m_{\max} \cdot \lambda,$$

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

В качестве m_{\max} берётся целая часть полученного числа.

Рассчитать m_{\max} с использованием формулы: $m_{\max} \approx \frac{\langle d \rangle}{\langle \lambda \rangle}$.

Задание 4. Определить общее число максимумов k , которые можно наблюдать с помощью данной решётки

Как видно из рис. 5, полное число максимумов k складывается из нулевого максимума и всех остальных максимумов, расположенных симметрично относительно нулевого ($2m_{\max}$), т. е. определяется формулой:

$$k = 2m_{\max} + 1.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляет собой явление дифракции света?
2. Что такое фронт волны? волновая поверхность?
3. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
4. Что представляет собой дифракционная решетка?
5. Что такое период дифракционной решетки? Как его определить, зная длину решетки ℓ и число щелей N ? как его определить, зная число щелей n , приходящихся на единицу длины решётки?
6. Запишите условие наблюдения главных максимумов при дифракции на дифракционной решетке.
7. Как рассчитать общее число максимумов, которое можно наблюдать с помощью данной решётки?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Т.И. Трофимова, А.В. Фролов, «Курс физики», т.2, изд. КноРус, 976 с., 2010г.
2. И.В. Савельев, «Курс общей физики», т.2, изд. КноРус, 1856 с., 2009г.