

Лабораторная работа №3

Определение длины световой волны при помощи дифракционной решетки

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с прозрачной дифракционной решеткой, определение длин волн спектра источника света (лампы накаливания).

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Дифракционная решетка
2. Лампа накаливания
3. Линейная установка для определения длины волны света.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Дифракция света – явление, состоящее в отклонении от законов геометрической оптики и возникающее при прохождении световых волн вблизи непрозрачных препятствий, соизмеримых с длиной световых волн. Различают два вида дифракции:

1. При **дифракции Френеля** дифракционная картина образована расходящимся пучком лучей, имеющих сферический волновой фронт.
2. При **дифракции Фраунгофера** дифракционная картина образована системами параллельных лучей, имеющих плоский волновой фронт. В этом случае дифракционная картина в виде темных и светлых полос наблюдается только с помощью линзы, собирающей лучи в фокальной плоскости.

Рассмотрим дифракцию Фраунгофера на дифракционной решетке.

Дифракционная решетка представляет собой плоскую прозрачную пластину, на которой нанесены чередующиеся прозрачные и непрозрачные полосы.

Сумму ширины прозрачной и непрозрачной полос называют **постоянной решетки** d , или ее **периодом**.

$$d = a + b \quad - \text{ период решетки}$$

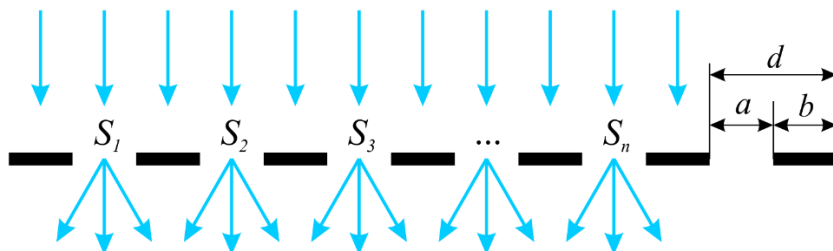


Рис. 1. Дифракционная решетка

Рассмотрим элементарную теорию дифракционной решетки.

Направим перпендикулярно плоскости решетки монохроматический пучок света, т.е. плоскую монохроматическую волну длиной λ .

В соответствии с **принципом Гюйгенса-Френеля** каждая точка волнового фронта может рассматриваться как самостоятельный источник вторичных волн. Эти источники когерентны.

Каждая щель решетки ведет себя как точечный источник вторичных волн при условии, что ширина щели меньше длины волны. В этом случае дифракционная решетка представляет собой набор точечных когерентных источников $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ (рис. 1), расположенных в щелях решетки и испускающих световые колебания во всех направлениях.

Падающий на дифракционную решетку параллельный пучок лучей в результате дифракции изменит свою структуру. После решетки угол отклонения лучей φ от первоначального направления составляет от 0° до 90° вправо и влево (рис. 2).

Если за дифракционной решеткой поместить собирающую линзу, то в фокальной плоскости линзы можно наблюдать дифракционную картину, являющуюся результатом двух процессов: дифракции света от каждой щели решетки и многолучевой интерференции от всех щелей. Основные черты этой картины определяются вторым процессом.

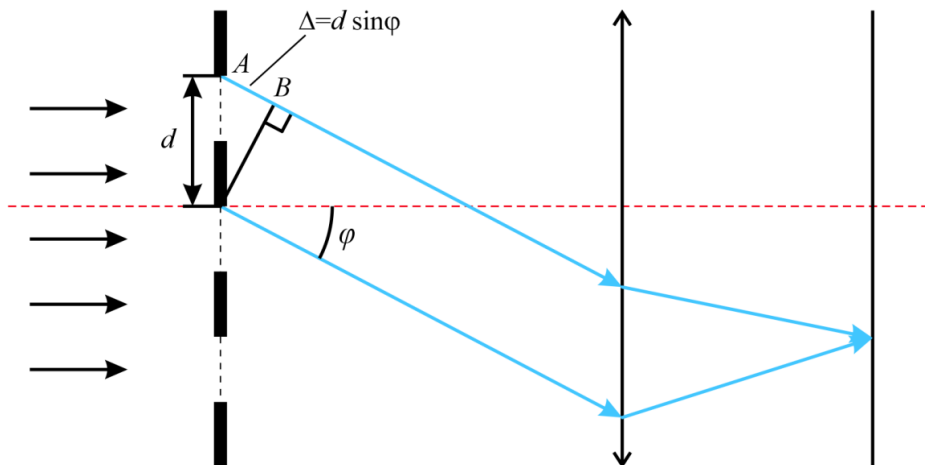


Рис. 2

Так как на решетку падает плоская волна, то лучи одного и того же направления, выходящие из различных щелей, имеют одинаковые начальные фазы. Линза не вносит разности фаз. Следовательно, разность фаз может создаваться только за счет разности хода лучей Δ до линзы, согласно рис.2.

$$\Delta = AB = d \sin \varphi$$

В случае когда, разность хода Δ лучей, выходящих из соответственно расположенных точек двух соседних щелей, равна целому числу длин волн света λ , волны будут усиливать друг друга (**максимум** интенсивности).

$$\Delta = k\lambda, \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

Таким образом, разность хода любых лучей, идущих в этом направлении:

$$\Delta = Nd \sin \varphi = Nk\lambda ,$$

где N равно разности номеров щелей.

Следовательно, все лучи, выходящие из двух соседних щелей под углом φ ($N = 1$), удовлетворяют условию

$$d \sin \varphi = k\lambda \tag{1}$$

При интерференции, они будут усиливать друг друга, и на экране будет наблюдаться **максимум** интенсивности света.

Уравнение (1) является основным при практическом использовании дифракционных решеток. Измерив углы φ , соответствующие положениям дифракционных максимумов, и зная длину волны света λ , можно найти постоянную решетки d , или наоборот, зная d , определить длину волны света λ .

В центральной световой полосе, изображение которой создается пучком, параллельным падающему суммируется действия всех лучей, независимо от длины волны (**центральный максимум**).

$$k = 0, \sin \varphi = 0$$

Справа и слева от центрального максимума располагаются световые полосы, для которых

$$k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots$$

Они называются **дифракционными максимумами** 1-го, 2-го ... и k -го порядка.

Согласно уравнению (1) различным значениям λ соответствуют различные углы φ (в дифракционных максимумах одного порядка). Поэтому при

освещении решетки белым светом в фокальной плоскости линзы образуется ряд *дифракционных спектров*, перекрывающихся друг друга (**рис. 3**).

Решая уравнение (1) относительно λ , получим:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k} \quad (2)$$

Это выражение является основной расчетной формулой для вычисления длин световых волн. В данной лабораторной работе определение длины волны света приводят с помощью гониометра и линейной установки.

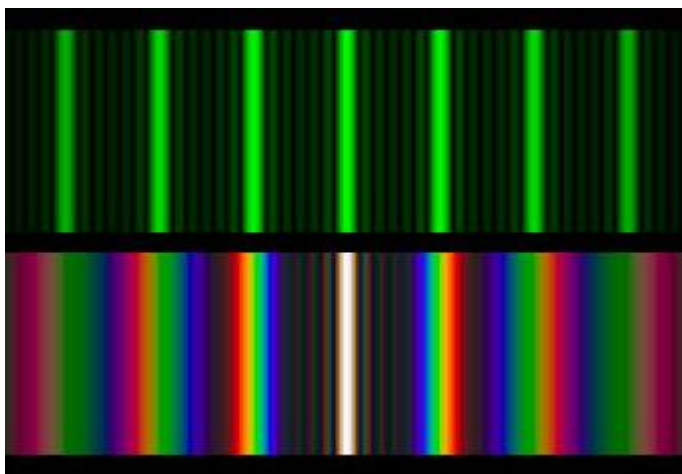


Рис. 3. Дифракционная картина решетки в зеленом (верхний ряд) и белом свете

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальная установка состоит из деревянного бруска прямоугольного сечения, на верхней стороне которого нанесена миллиметровая шкала. В пазах бруска перемещается подвижный экран Э, на который наклеена миллиметровая шкала. Оптическая схема представлена на **рис. 4**.

Ноль шкалы расположен посередине экрана, где имеется щель. Глаз видит дифракционные спектры, которые проецируются на экран Э.

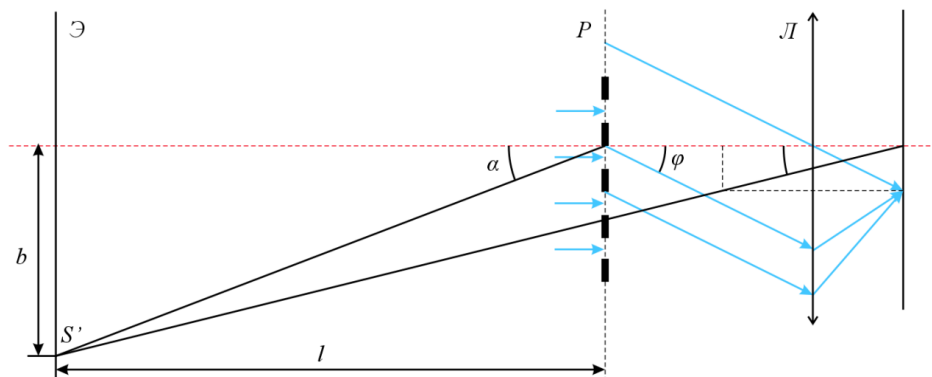


Рис. 4

Угол дифракции φ , под которым виден дифракционный максимум, мал, поэтому можно принять, что:

$$\sin \varphi \cong \operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{l}, \quad (3)$$

где b – расстояние до дифракционного максимума на экране;
 l – расстояние от дифракционной решетки до экрана.

Подставляя (3) в (2), получаем:

$$\lambda = \frac{d \cdot b}{k \cdot l}, \quad (4)$$

где d – период решетки;
 k – порядок спектра.

ХОД РАБОТЫ

1. Зажгите электрическую лампочку. Укрепите прибор так, чтобы горизонтальная рейка была на уровне глаз.
2. Установите в рамку дифракционную решетку. Определите период дифракционной решетки d (указана на самой решетке).
3. На расстоянии $l_1 = 20\text{см}$ поместите подвижный экран.
4. Приблизив глаз к дифракционной решетке, направьте прибор на источник света так, чтобы сквозь узкую щель на экране была видна нить накала лампы.

На черном фоне по обе стороны щели будут видны симметричные спектры.

5. Определите по шкале экрана расстояние $b_{кр}$ до красных, а также до фиолетовых лучей $b_{фиол}$ в спектре первого ($k = 1$) и второго порядка ($k = 2$) сначала по одну сторону от центрального максимума, затем по другую.
6. Аналогичные измерения проведите для расстояния $l_2 = 30\text{см}$.
7. Пользуясь формулой (4), вычислите длину волны $\lambda_{кр}$ красного света и $\lambda_{фиол}$ фиолетового света.
8. Данные занесите в таблицу.
9. Определите средние значения длин волн $\lambda_{кр}$ и $\lambda_{фиол}$.
10. Сравните полученные данные с табличными.
11. Сделайте выводы.

Таблица

Положение	k	d , м	$b_{кр}$, м	$b_{фиол}$, м	l , м	$\lambda_{кр}$, нм	$\lambda_{фиол}$, нм
слева	1				0,2		
справа	1				0,2		
слева	2				0,2		
справа	2				0,2		
слева	1				0,3		
справа	1				0,3		
слева	2				0,3		
справа	2				0,3		
Среднее значение							

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Какие волны называются когерентными?
3. В чем заключается явление дифракции?
4. При каких условиях наблюдается дифракция?
5. Какова роль линзы в получении дифракционной картины?
6. Условие максимумов для дифракционной решетки.
7. Каков порядок следования цветов в дифракционных спектрах?
8. Чем будут отличаться дифракционные картины, полученные от решетки с различными постоянными, но и одинаковым числом штрихов?
9. Что такое длина волны?