

Хранить _____ лет

под _____



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физики

**ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ
СПЕКТРОВ
С ПОМОЩЬЮ ГОНИОМЕТРА**

*Методические указания
к лабораторной работе по физике*

Минск 2007

УДК 530.1 (075.8)
ББК 22.34я7
И 39

Составители:
П.Г. Кужир, В.А. Помачин, В.А. Самойлюкович

Рецензент
И.А. Сатиков, канд. физ.-мат. наук., доцент

В работе изложены основные сведения, касающиеся дифракции света, рассмотрена дифракция плоских волн на щели и спектральные характеристики дифракционной решетки.

Издание предназначено для студентов инженерно-технических специальностей всех видов обучения.

Цель работы: изучение основных законов дифракции света, определение длин волн с использованием дифракционной решетки.

Используемое оборудование: дифракционная решетка, гониометр, ртутная лампа.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Под дифракцией света понимают явление, обуславливающее отклонения от законов геометрической оптики при распространении света в среде с резкими неоднородностями.

Дифракция, в частности, приводит к образованию световыми волнами препятствий, к проникновению света в область геометрической тени.

Между интерференцией и дифракцией нет существенного физического различия. Интерференция и дифракция обусловлены волновой природой света. Дифракция – это интерференция вторичных волн после взаимодействия первичной волны со средой с резкими неоднородностями.

Различают два вида дифракции: дифракция Фраунгофера и дифракция Френеля.

Дифракцией Фраунгофера или дифракцией в параллельных лучах называют дифракцию, наблюдаемую при выполнении двух условий:

- 1) плоская падающая волна,
- 2) плоская дифрагированная волна.

Дифракцию Фраунгофера можно наблюдать, поместив за источником света S и перед экраном по линзе, так чтобы источник S и экран оказались в фокальных плоскостях соответствующих линз. Если линзы не используются, то источник света S и экран должны быть расположены от препятствия настолько далеко, что лучи, падающие на препятствие и лучи, идущие к экрану, можно считать практически параллельными.

Когда хотя бы одно из двух условий дифракции Фраунгофера не выполняются, то имеет место дифракция Френеля.

ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА

Согласно принципу Гюйгенса, каждая точка, до которой фронт волны, становится источником вторичных поэлементарных волн, излучаемых всеми дифференсиальными площадками dS_i .

Пусть на преграду с отверстием падает плоская волна (рис.1). По Гюйгенсу каждая точка, выделенного отверстия участка, волнового фронта служит центром вторичных волн. Построив огибающую вторичных волн, мы убеждаемся в том что за отверстием волна проникает в область геометрической тени, огибая края преграды. На рисунке область геометрической тени показана пунктиром.

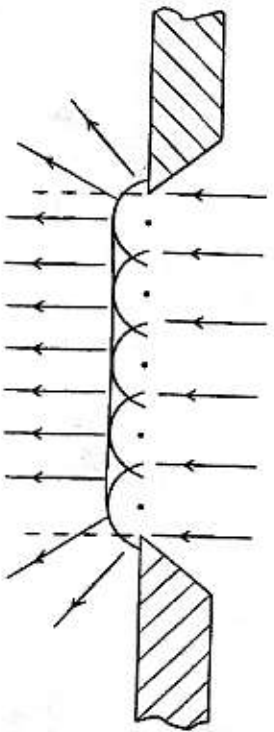


Рис. 1

Принцип Гюйгенса позволяет объяснить отклонения от прямолинейного распространения света при взаимодействии с препятствиями. Однако этот принцип не дает сведений об амплитуде, а следовательно, и об интенсивности волн, распространяющихся в различных направлениях. Этот недостаток был устранен Френелем.

ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА-ФРЕНЕЛЯ

Френель предложил волновой фронт расчленить на элементарные участки dS_i и каждый такой участок рассматривать

как источник вторичных когерентных волн. Амплитуда результирующей волны в любой точке пространства есть результат интерференции вторичных волн, излучаемых всеми дифференсиальными площадками dS_i .

Пусть $E_{0i} \cos(\omega t + \alpha_i)$ — колебание, возбуждаемое первичной волной в месте расположения площадки dS_i (рис.2).

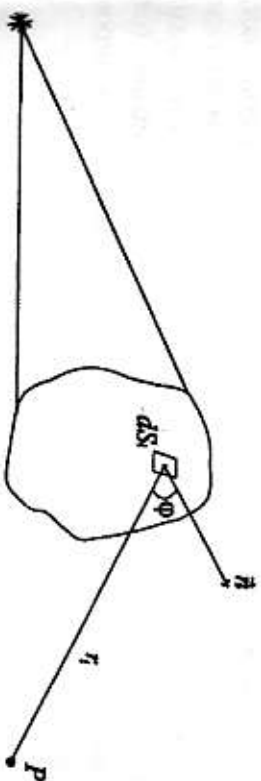


Рис. 2

Элементарная площадка dS_i испускает вторичные волны, амплитуда которых пропорциональна dS_i и монотонно убывает с увеличением расстояния r_i и угла ϕ .

Колебание, возбуждаемое элементом поверхности dS_i в точке P , имеет вид:

$$d\vec{E}_i = f(\phi) \frac{E_{0i}}{r_i} \cos \left[\omega \left(t - \frac{r_i}{v} \right) + \alpha_i \right] dS_i. \quad (1)$$

$f(\phi)$ — меняется от своего максимального значения при $\phi=0$ до нуля при $\phi = \frac{\pi}{2}$.

Результирующее колебание, возбуждаемое в точке P , будет определяться интерференцией колебаний от всех элементарных площадок dS_i :

$$\vec{E} = \int_S f(\varphi) \frac{E_0}{r_1} \cos \left[\omega t - \frac{r_1}{v} \right] + \alpha_1 \left[dS_1 \right]. \quad (1)$$

Формула (2) выражает принцип Гюйгенса-Френеля в аналитической форме.

Вычисления по формуле (2) представляются собой в общем случае чрезвычайно трудную задачу. Однако, в случае когда взаимодействие волны происходит с симметричным объектом (круглое отверстие, диск, прямоугольная щель и т.д.) нахождение результирующей амплитуды колебания может быть осуществлено алгебраическим и геометрическим суммированием с применением метода зон Френеля.

МЕТОД ЗОН ФРЕНЕЛЯ

Пусть в однородной среде распространяются колебания точечного источника света S (рис.3). Волновая поверхность такой волны симметрична относительно прямой SP . Френель предложил волновую поверхность разбить на кольцевые зоны таким образом, что бы расстояния от краев соседних зон до точки наблюдения отличались на $\frac{\lambda}{2}$. Следовательно, колебания, приходящие в точку P от аналогичных точек двух соседних зон, будут находиться в противофазе. Для малых m амплитуда E_m колебаний, возбуждаемых m -й зоной в точке P мало отличается от амплитуды E_1 колебаний, возбуждаемых первой зоной. Следовательно, при нечетных m амплитуда колебаний в точке P равна E_1 , а при четных m — нулю.

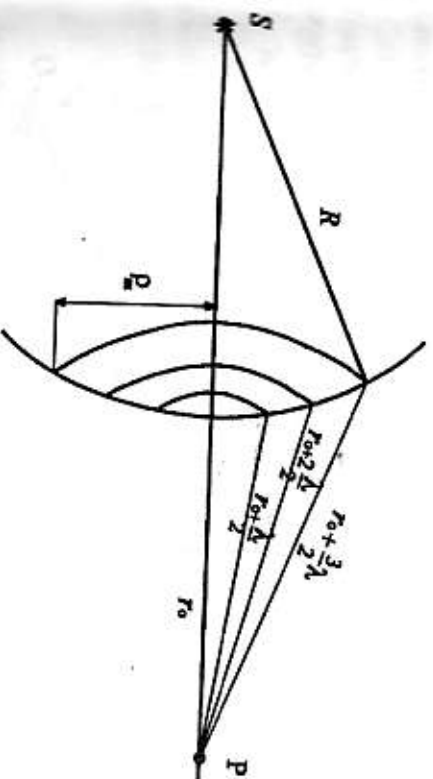


Рис. 3

Из рисунка следует, что расстояние от внешнего края m -й зоны до точки P равно

$$r_m = r_0 + m \frac{\lambda}{2}. \quad (3)$$

Радиус внешней границы m -й зоны

$$\rho_m = \sqrt{\frac{r_0 R}{r_0 + R}} m \lambda. \quad (4)$$

Из (4) следует, что число зон для сферической волны

$$m = \frac{\rho_m^2}{\lambda} \left(\frac{1}{r_0} + \frac{1}{R} \right). \quad (5)$$

Если падающая волна плоская, то $R \rightarrow \infty$, $\frac{1}{R} \rightarrow 0$, а

$$m = \frac{\rho_m^2}{\lambda r_0}. \quad (6)$$

ДИФРАКЦИЯ ПЛОСКИХ ВОЛН НА ШЕЛИ

Пусть параллельный пучок монохроматического света падает нормально на непрозрачный экран, в котором прорезана щель шириной b (рис. 4).

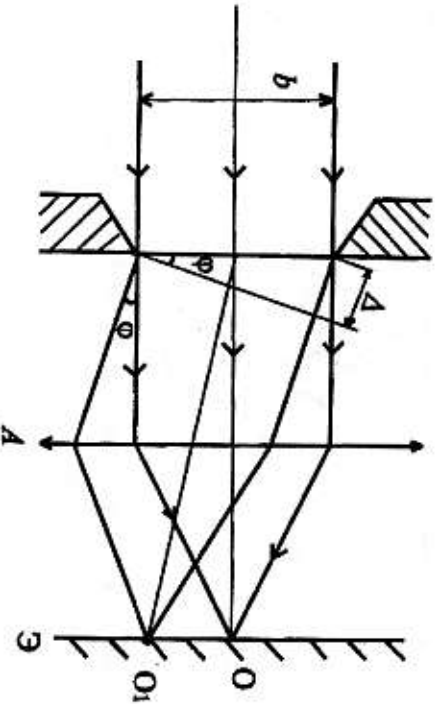


Рис. 4

Колебания, вызываемые в точке O всеми участками щели, совершаются в одной фазе, поэтому в направлении $\varphi=0$ все наблюдается центральный максимум нулевого порядка.

Какова же будет интенсивность света в точке O_1 , в которую соберутся лучи, идущие из разных точек щели под углом $\varphi \neq 0$? Разность хода между крайними лучами пучка, сошедшими в точке O_1 , равна

$$\Delta = b \sin \varphi,$$

b — ширина щели.

Допустим $\Delta = \lambda$. Тогда пучок лучей можно разделить на две зоны Френеля, причем каждый луч верхней зоны бу-

днет в фазе на π от соответствующего луча нижней зоны. Следовательно, в точке O_1 они взаимно погасят друг друга. Значит, при $b \sin \varphi = \lambda$ будет наблюдаться первый минимум интенсивности.

Во всех направлениях, для которых $b \sin \varphi$ равно целому числу λ , пучок света делится на четное число зон Френеля, взаимно гасящих друг друга, и будут иметь место минимумы интенсивности:

$$b \sin \varphi = \pm k \lambda, \quad k=1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

Центральная светлая полоса занимает область между ближайшими правым и левым минимумами:

$$\sin \varphi = -\frac{\lambda}{b} \quad \text{и} \quad \sin \varphi = +\frac{\lambda}{b}. \quad (9)$$

Таким образом, центральная светлая полоса тем шире, чем больше ширина щели и больше длина волны. В центральном максимуме сосредоточена почти вся энергия света, прошедшего через щель. Кроме центрального максимума нулевого порядка наблюдаются также вторичные, относительно слабые, максимумы по направлениям, определяемым условием:

$$b \sin \varphi = \pm (2k-1) \frac{\lambda}{2}, \quad k=1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

Распределение интенсивности при дифракции плоских волн на щели имеет вид, представленный на рис. 5.

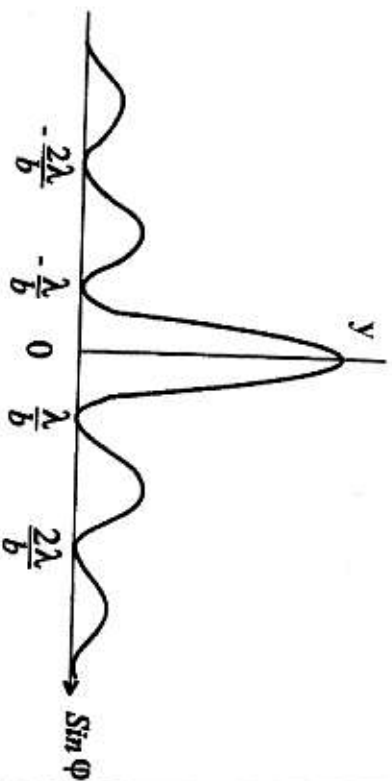


Рис. 5

ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА

Простейшая дифракционная решетка представляет собой систему параллельных щелей, разделенных одинаковыми непрозрачными промежутками (рис. 6).

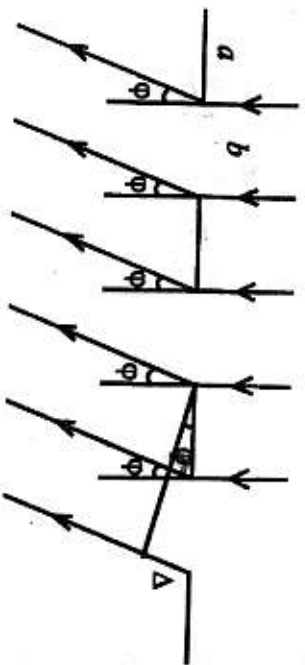


Рис. 6

$d = a + b$ – постоянная дифракционной решетки,
 a – ширина непрозрачного промежутка,
 b – ширина щели.

На дифракционной решетке имеют место два явления: дифракция $dφ$ – угловое расстояние между спектральными линиями, и интерференция света от всех щелей. Интерференция по длине волны на $dλ$.

Угловое, определяющее главные максимумы интенсивности для дифракционной решетки, имеет вид:

$$d \sin \varphi = k\lambda \quad (11)$$

$k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

k – порядок спектра, φ – угол дифракции, λ – длина волны.

Максимум нулевого порядка один, а максимумов 1-го, 2-го, 3-го и т.д. порядков по два.

Положение главных максимумов, кроме нулевого, зависит от длины волны. Поэтому при пропускании через решетку белого света все максимумы, кроме центрального, разлагаются в спектр, фиолетовый конец которого обращен к центру дифракционной картины (рис. 7).

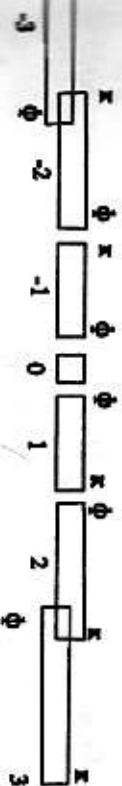


Рис. 7

Таким образом, дифракционная решетка является спектральным прибором.

Для нулевого порядка для любой длины волны дифракционный угол $\varphi=0$. Поэтому в нулевом порядке белый свет не диспергируется в спектр.

УГЛОВАЯ ДИСПЕРСИЯ И РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

Угловой дисперсией называют величину

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} \quad (12)$$

Чтобы найти угловую дисперсию дифракционной решетки продифференцируем (11) и получим

$$d \cos \varphi d\varphi = kd\lambda,$$

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{k}{d \cos \varphi}.$$

Если $\varphi \rightarrow 0$, то $\cos \varphi \rightarrow 1$, и тогда

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{k}{d}.$$

Если $\varphi \gg 0$, то $\cos \varphi = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} = \sqrt{1 - \frac{k^2 \lambda^2}{d^2}}$, т.к. $\sin \varphi = \frac{k\lambda}{d}$.

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{k}{d \sqrt{1 - \frac{k^2 \lambda^2}{d^2}}} = \frac{k}{\sqrt{d^2 - k^2 \lambda^2}}.$$

Разрешающая способность спектрального прибора

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}.$$

где $\Delta\lambda = \lambda - \lambda'$ - наименьшая разность длин волн двух спектральных линий, разрешаемых этим прибором вблизи данной длины волны λ .

Для дифракционной решетки $R = kN$, где k - порядок спектра, N - общее число штрихов дифракционной решетки.

Контрольные вопросы

1. Что называется дифракцией света?
2. Сформулируйте принцип Гюйгенса.
3. Изложите суть принципа Гюйгенса-Френеля.
4. Как рассчитывается волновой фронт на зоны Френеля?
5. Рассмотрите дифракцию плоских волн на щели.
6. Что представляет собой простейшая дифракционная решетка?
7. Какие физические явления имеют место на дифракционной решетке?
8. Запишите условие главных максимумов для дифракционной решетки.
9. Почему дифракционная решетка является спектральным прибором? Изобразите схематически спектр, получаемый с помощью дифракционной решетки если на нее подает белый свет.
10. Что такое угловая дисперсия спектрального прибора? Запишите формулы для угловой дисперсии дифракционной решетки.
11. Что такое разрешающая способность спектрального прибора? Запишите формулу для разрешающей способности дифракционной решетки.