

Тема урока: «Дифракция света. Дифракционная решетка.»

Образовательные цели урока:

Ввести понятие дифракции света

Объяснить дифракцию света с помощью принципа Гюйгенса-Френеля

Ввести понятие зон Френеля

Объяснить устройство и принцип действия дифракционной решетки

Дифракция света

Дифракция Френеля

Дифракция Фраунгофера

Дифракционная решетка

Дифракция - явление огибания волнами препятствий, встречающихся на их пути, или в более широком смысле - любое отклонение распространения волн вблизи препятствий от законов геометрической оптики. Благодаря дифракции волны могут попадать в область геометрической тени, огибать препятствия, проникать через небольшие отверстия в экранах и т. д. Например, звук хорошо слышен за углом дома, т. е. звуковая волна его огибает.

Если свет представляет собой волновой процесс, на что убедительно указывает явление интерференции, то должна наблюдаться и дифракция света.

Дифракция света- явление отклонения световых лучей в область геометрической тени при прохождении мимо краев препятствий или сквозь отверстия, размеры которых сравнимы с длиной световой волны.

Тот факт, что свет заходит за края препятствий, известен людям давно. Первое научное описание этого явления принадлежит Ф. Гримальди. В узкий пучок света Гримальди помещал различные предметы, в частности тонкие нити. При этом тень на экране оказывалась шире, чем это должно быть согласно законам геометрической оптики. Кроме того, по обе стороны тени обнаруживались цветные полосы. Пропуская тонкий пучок света через маленькое отверстие, Гримальди также наблюдал отступление от закона прямолинейного распространения света. Светлое пятно против отверстия оказывалось большего размера, чем это следовало ожидать при прямолинейном распространении света.

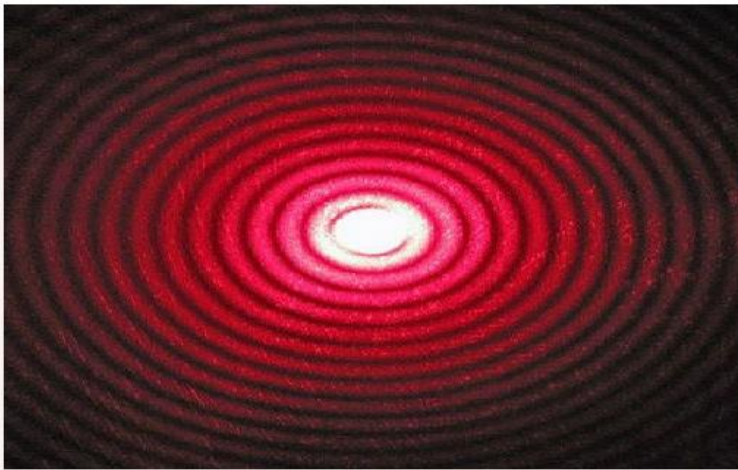
В 1802 г. Т. Юнг, открывший интерференцию света, поставил классический опыт по дифракции.

В непрозрачной ширме он проколол булавкой два маленьких отверстия В и С на небольшом расстоянии друг от друга. Эти отверстия освещались узким световым пучком, прошедшим через малое отверстие А в другой ширме. Именно эта деталь, до которой очень трудно было додуматься в то время, решила успех опыта. Интерферируют ведь только когерентные волны. Возникшая в соответствии с принципом Гюйгенса сферическая волна от отверстия А возбуждала в отверстиях В и С когерентные колебания. Вследствие дифракции от отверстий В и С выходили два световых конуса, которые частично перекрывались. В результате интерференции этих двух световых волн на экране появлялись чередующиеся светлые и темные полосы. Закрывая одно из отверстий. Юнг обнаружил, что интерференционные полосы исчезали. Именно с помощью этого опыта впервые Юнгом были измерены длины волн, соответствующие световым лучам разного цвета, причем, весьма точно.

Теория дифракции

Французский ученый О. Френель не только более детально исследовал различные случаи дифракции на опыте, но и построил количественную теорию дифракции. В основу теории Френель положил принцип Гюйгенса, дополнив его идеей об интерференции вторичных волн. Принцип Гюйгенса в его первоначальном виде позволял находить только положения волновых фронтов в последующие моменты времени, т. е. определять направление распространения волны. По существу, это был принцип геометрической оптики. Гипотезу

Гюйгенса об огибающей вторичных волн Френель заменил физически ясным положением, согласно которому вторичные волны, приходя в точку наблюдения, интерферируют друг с другом.



Отклонение от прямолинейного распространения волн и огибание волнами краёв препятствий называется **дифракцией**.

Различают два случая дифракции:

Если преграда, на которой происходит дифракция, находится вблизи от источника света или от экрана, на котором происходит наблюдение, то фронт падающих или дифрагированных волн имеет криволинейную поверхность (например, сферическую); этот случай называется дифракцией Френеля.

Если размеры препятствия много меньше расстояния до источника, то волну, падающую на препятствие, можно считать плоской. Дифракцию плоских волн часто называют дифракцией Фраунгофера.

Метод зон Френеля.

Для объяснения особенностей дифракционных картин на простых объектах, Френель придумал простой и наглядный метод группировки вторичных источников – метод построения зон Френеля. Этот метод позволяет приближенным способом рассчитывать дифракционные картины

Зоны Френеля – множество когерентных источников вторичных волн, максимальная разность хода между которыми равна $\lambda/2$.

Если разность хода от двух соседних зон равна $\lambda/2$, следовательно, колебания от них приходят в точку наблюдения М в противоположных фазах, так, что волны от любых двух соседних зон Френеля гасят друг друга.

Например, при пропускании света через отверстие малого размера, в точке наблюдения можно обнаружить как светлое, так и темное пятно. Получается парадоксальный результат – свет не проходит через отверстие!

Для объяснения результата дифракции, необходимо посмотреть, сколько зон Френеля укладывается в отверстие. Когда на отверстии укладывается нечетное число зон, то в точке наблюдения возникнет максимум (светлое пятно). Когда на отверстии укладывается четное число зон, то в точке наблюдения возникнет минимум

(темное пятно). На самом деле свет, конечно же, проходит через отверстие, но интерференционные максимумы возникают в соседних точках.

Зонная пластинка Френеля.

Из теории Френеля можно получить еще ряд замечательных, иногда парадоксальных следствий. Одно из них – возможность использования в роли собирающей линзы зонной пластинки. Зонная пластинка – прозрачный экран с чередующимися светлыми и темными кольцами. Радиусы колец подбираются так, что кольца из непрозрачного материала закрывают все четные зоны, тогда в точку наблюдения приходят колебания только от нечетных зон, происходящих в одной и той же фазе, что приводит к увеличению интенсивности света в точке наблюдения.

Второе замечательное следствие теории Френеля – предсказание существования светлого пятна (пятна Пуассона) в области геометрической тени от непрозрачного экрана .

Для наблюдения светлого пятна в области геометрической тени необходимо, чтобы непрозрачный экран перекрывал небольшое число зон Френеля (одну-две).

Дифракция Фраунгофера.

Если размеры препятствия много меньше расстояния до источника, то волну, падающую на препятствие, можно считать плоской. Плоскую волну можно также получить, располагая источник света в фокусе собирающей линзы .

Дифракция Фраунгофера на щели.

Каждая точка отверстия является источником вторичных волн. Рассмотрим участок длиной dx , расположенный внутри отверстия на расстоянии x от края.

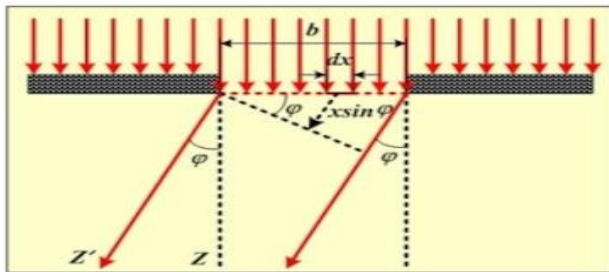
Волны, излучённые с отрезка dx распространяются по всем направлениям ($-\pi/2 < \varphi < \pi/2$).

Рассмотрим волны, распространяющиеся вдоль прямой, образующей угол φ с перпендикуляром к преграде.

Волны, излучённые с отрезка dx , запаздывают по фазе на

$$\Delta = kx \sin \varphi,$$

$$k = \frac{\omega}{v} \text{ - волновое число (модуль волнового вектора).}$$



Дифракцию плоских волн часто называют дифракцией Фраунгофера по имени немецкого ученого Фраунгофера. Этот вид дифракции рассматривается особо по двум причинам. Во-первых, это более простой частный случай дифракции, а во-вторых, такого рода дифракция часто встречается в разнообразных оптических приборах.

Дифракция на щели.

Большое практическое значение имеет случай дифракции света на щели. При освещении щели параллельным пучком монохроматического света на экране получается ряд темных и светлых полос, быстро убывающих по интенсивности .

Если свет падает перпендикулярно к плоскости щели, то полосы расположены симметрично относительно центральной полосы, а освещенность меняется вдоль экрана периодически, в соответствие с условиями максимума и минимума .

Вывод:

- а) с уменьшением ширины щели центральная светлая полоса расширяется;
- б) при заданной ширине щели, расстояние между полосами тем больше, чем больше длина волны света;
- в) поэтому в случае белого света имеет место совокупность соответствующих картин для разных цветов;
- г) при этом главный максимум будет общим для всех длин волн и представится в виде белой полосы, а боковые максимумы - это цветные полосы с чередованием цветов от фиолетового цвета к красному.

Дифракция на двух щелях.

Если имеются две идентичные параллельные щели, то они дают одинаковые накладываются друг на друга дифракционные картины, вследствие чего максимумы соответственно усиливаются, а, кроме того, происходит взаимная интерференция волн от первой и второй щелей. В результате минимумы будут на прежних местах, так как это те направления, по которым ни одна из щелей не посылает света. Кроме того, возможны направления, в которых свет, посылаемый двумя щелями, взаимно гасится. Таким образом, между двумя главными максимумами располагается один добавочный минимум, а максимумы становятся при этом более узкими, чем при одной щели. Чем больше число щелей, тем более резко очерчены максимумы и тем более широкими минимумами они разделены. При этом световая энергия перераспределяется так, что большая ее часть приходится на максимумы, а в минимумы попадает незначительная часть энергии.

Дифракционная решетка.

Дифракционная решетка

Дифракционная решетка представляет собой совокупность большого числа очень узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками

Если ширина прозрачных щелей (или отражающих свет полос) равна a , и ширина непрозрачных промежутков (или рассеивающих свет полос) равна b , то величина $d=a+b$ называется **периодом решетки**.

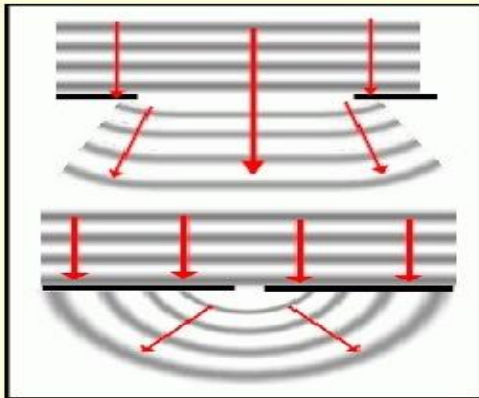


Дифракционная решетка представляет собой совокупность большого числа очень узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками. Если на решетку падает монохроматическая волна – то щели (вторичные источники) создают когерентные волны. За решеткой ставится собирающая линза, далее- экран. В результате интерференции света от различных щелей решетки на экране наблюдается система максимумов и минимумов.

Положение всех максимумов, кроме главного зависит от длины волны. Поэтому если на решетку падает белый свет, то он разлагается в спектр. Поэтому дифракционная решетка является спектральным прибором, служащим для разложения света в спектр. С помощью дифракционной решетки можно точно измерять длину волны, так как при большом числе щелей области максимумов интенсивности сужаются, превращаясь в тонкие яркие

полосы, а расстояние между максимумами (ширина темных полос) растет.

2 Условия дифракции:



$$d < \lambda$$

λ — длина волны света

d — диаметр отверстия

Разрешающая способность дифракционной решетки.

Для спектральных приборов, содержащих дифракционную решетку, важна способность раздельного наблюдения двух спектральных линий, имеющих близкие длины волн.

Способность раздельного наблюдения двух спектральных линий, имеющих близкие длины волн, называют разрешающей способностью решетки.

Если мы хотим разрешить две близкие спектральные линии, то необходимо добиться, чтобы интерференционные максимумы, соответствующие каждой из них, были по возможности более узкими. Для случая дифракционной решетки это означает, что общее число штрихов, нанесенных на решетку, должно быть по возможности очень большим. Так, в хороших дифракционных решетках, имеющих около 500 штрихов на одном миллиметре, при общей длине около 100 мм, полное число штрихов равно 50000.

Решетки в зависимости от их применения бывают металлическими или стеклянными. Лучшие металлические решетки имеют до 2000 штрихов на один миллиметр поверхности, при этом общая длина решетки составляет 100-150 мм. Наблюдения на металлических решетках проводят только в отраженном свете, а на стеклянных — чаще всего в проходящем свете.

Наши ресницы с промежутками между ними представляют собой грубую дифракционную решетку. Если посмотреть, прищурившись, на яркий источник света, то можно обнаружить радужные цвета. Явления дифракции и интерференции света помогают

Природе раскрашивать всё живое, не прибегая к использованию красителей.

Дифракционная решетка расположена параллельно экрану на расстоянии 0,7 м от него. Определите количество штрихов на 1 мм для этой дифракционной решетки, если при нормальном падении на нее светового пучка с длиной волны 430 нм первый дифракционный максимум на экране находится на расстоянии 3 см от центральной светлой полосы. Считать, что $\sin \varphi \approx \tan \varphi$.

Дифракционная решетка, период которой равен 0,005 мм, расположена параллельно экрану на расстоянии 1,6 м от него и освещается пучком света длиной волны 0,6 мкм, падающим по нормали к решетке. Определите расстояние между центром дифракционной картины и вторым максимумом. Считать, что $\sin \varphi \approx \tan \varphi$.

Дифракционная решетка с периодом 10-5 м расположена параллельно экрану на расстоянии 1,8 м от него. Решетка освещается нормально падающим пучком света длиной волны 580 нм. На экране на расстоянии 20,88

см от центра дифракционной картины наблюдается максимум освещенности. Определите порядок этого максимума. Считать, что $\sin\varphi \approx \tan\varphi$.

При помощи дифракционной решетки с периодом 0,02 мм получено первое дифракционное изображение на расстоянии 3,6 см от центрального и на расстоянии 1,8 м от решетки. Найдите длину световой волны.

Спектры второго и третьего порядков в видимой области дифракционной решетки частично перекрываются друг с другом. Какой длине волны в спектре третьего порядка соответствует длина волны 700 нм в спектре второго порядка?

Плоская монохроматическая волна с частотой $8 \cdot 10^{14}$ Гц падает по нормали на дифракционную решетку с периодом 5 мкм. Параллельно решетке позади нее размещена собирающая линза с фокусным расстоянием 20 см. Дифракционная картина наблюдается на экране в фокальной плоскости линзы. Найдите расстояние между ее главными максимумами 1 и 2 порядков. Считать, что $\sin\varphi \approx \tan\varphi$.

Какова ширина всего спектра первого порядка (длины волн заключены в пределах от 380 нм до 760 нм), полученного на экране, отстоящем на 3 м от дифракционной решетки с периодом 0,01 мм?

Какова должна быть общая длина дифракционной решетки, имеющей 500 штрихов на 1 мм, чтобы с ее помощью разрешить две линии спектра с длинами волн 600,0 нм и 600,05 нм?

4. Домашнее задание :ответить на вопросы:

Почему дифракция звука повседневно более очевидна, чем дифракция света?

Каковы дополнения Френеля к принципу Гюйгенса?

В чем заключается принцип построения зон Френеля?

В чем заключается принцип действия зонных пластинок?

Когда наблюдается дифракция Френеля, дифракция Фраунгофера?

В чем отличие дифракции Френеля на круглом отверстии при освещении его монохроматическим и белым светом?

Почему дифракция не наблюдается на больших отверстиях и больших дисках?

Чем определяется тот факт, будет ли число зон Френеля, открываемых отверстием, четным или нечетным?

Каковы характерные особенности дифракционной картины, получающейся при дифракции на малом непрозрачном диске.

Каково отличие дифракционной картины на щели при освещении монохроматическим и белым светом?

Какова предельная ширина щели, при которой еще будут наблюдаться минимумы интенсивности?

Как влияет на дифракцию Фраунгофера от одной щели увеличение длины волны и ширины щели?

Как изменится дифракционная картина, если увеличить общее число штрихов решетки, не меняя постоянной решетки?

Сколько дополнительных минимумов и максимумов возникает при дифракции на шести щелях?

Почему дифракционная решетка разлагает белый свет в спектр?

Как определить наибольший порядок спектра дифракционной решетки?

Как изменится дифракционная картина при удалении экрана от решетки?

Почему при использовании белого света только центральный максимум белый, а боковые максимумы радужно окрашены?

Почему штрихи на дифракционной решетке должны быть тесно расположены друг к другу?

Почему штрихов должно быть большое число?

Дифракционная решетка, постоянная которой равна 0,004 мм, освещается светом с длиной волны 687 нм. Под каким углом к решетке нужно проводить наблюдение, чтобы видеть изображение спектра второго порядка?

На дифракционную решетку, имеющую 500 штрихов на 1 мм, падает монохроматический свет длиной волны 500 нм. Свет падает на решетку перпендикулярно. Какой наибольший порядок спектра можно наблюдать?

Определите разрешающую способность дифракционной решетки, период которой равен 1,5 мкм, а общая длина 12 мм, если на нее падает свет с длиной волны 530 нм

Какое наименьшее число штрихов должна содержать решетка, чтобы в спектре первого порядка можно было разрешить две желтые линии натрия с длинами волн 589 нм и 589,6 нм. Какова длина такой решетки, если постоянная решетки 10 мкм.

Определите число открытых зон при следующих параметрах:

$R = 2$ мм; $a = 2.5$ м; $b = 1.5$ м

а) $\lambda = 0.4$ мкм.

б) $\lambda = 0.76$ мкм

Щель размером 1,2 мм освещается зеленым светом с длиной волны 0,5 мкм. Наблюдатель расположен на расстоянии 3 м от щели. Увидит ли он дифракционную картину

Щель размером 0,5 мм освещается зеленым светом от лазера с длиной волны 500 нм. На каком расстоянии от щели можно отчетливо наблюдать дифракционную картину?

Учебник: § 71-72 (Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев. Физика.11).