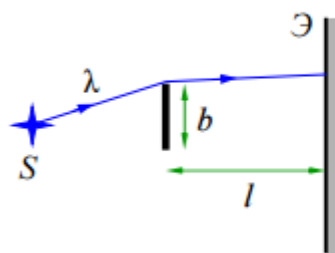


27. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Фраунгофера на щели и решетке

Любую плоскую электромагнитную волну можно представить в виде световых лучей, т. е. в виде узкого пучка света. В однородной среде свет распространяется прямолинейно, что подтверждается образованием тени от непрозрачных предметов. Любое отклонение при распространении волны от законов геометрической оптики называют *дифракцией*.

Благодаря дифракции световые волны могут попадать в область геометрической тени: огибать препятствия, распространяться вдоль поверхностей, проникать сквозь малые отверстия, размеры которых сравнимы или меньше длины волны.

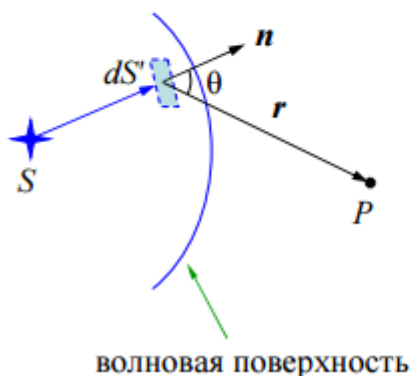
Виды дифракции



$$\frac{b^2}{l\lambda} \begin{cases} \ll 1 & \text{— дифракция Фраунгофера,} \\ \sim 1 & \text{— дифракция Френеля,} \\ \gg 1 & \text{— геометрическая оптика.} \end{cases}$$

Принцип Гюйгенса-Френеля

Световая волна, возбуждаемая каким-либо источником S , может быть представлена как результат суперпозиции когерентных вторичных волн, излучаемых малыми элементами некоторой волновой поверхности, охватывающей источник S .



$$E = \int_{S'} K(\theta) \frac{E' dS'}{r} \exp(ikr)$$

k — волновое число

Действие источника заменяется светящейся поверхностью (можно представить «матовую лампочку»).

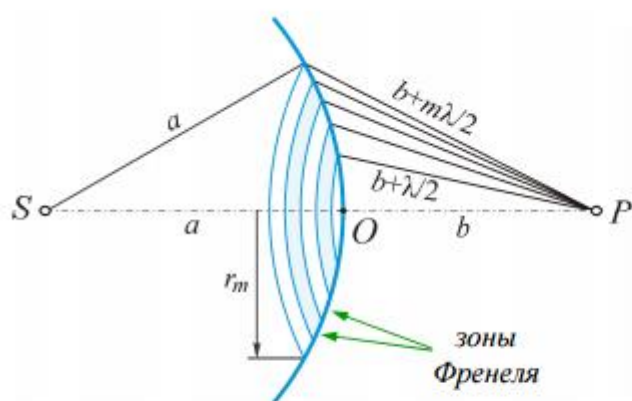
Принцип Гюйгенса-Френеля позволяет найти результирующую амплитуду в некоторой точке пространства. Согласно принципу Гюйгенса-Френеля свет должен наблюдаться в тех точках пространства, куда при интерференции вторичные волны приходят в одинаковой фазе (усиливают друг друга — максимум интерференции). В тех точках пространства, куда они приходят в противофазе (гасят друг друга — минимум интерференции), наблюдается темнота. Физический смысл огибающей вторичных волн заключается в том, что все вторичные волны колеблются в этот

момент в одинаковых фазах и их интерференция приводит к максимальной интенсивности света. По этой причине и отсутствует обратная волна.

Метод зон Френеля

Строгий расчет дифракции света связан с математическими трудностями. Френель предложил более простой метод для объяснения дифракции света, который называют методом зон Френеля. Согласно этому методу в любой момент времени волновую поверхность S разбивают на отдельные зоны, каждая из которых отделена от предыдущей на $\lambda/2$. При распространении плоской монохроматической электромагнитной (световой) волны (параллельный пучок лучей) на экране наблюдается дифракция света в виде чередующихся светлых и темных колец.

Волны, возбуждаемые в точке P любым четным числом зон, противоположны по фазе и при наложении гасят друг друга, т. е. в центре дифракционной картины наблюдается темное пятно. Если число зон нечетно, то в центре дифракционной картины наблюдается светлое пятно



Площадь зоны

$$\sigma_m = \frac{\pi ab \lambda}{a + b}$$

Радиус

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a + b} m \lambda}$$

Амплитуды колебаний $A_1 > A_2 > A_3 > A_4 > \dots \geq 0$

Колебания, приходящие в точку P от двух соседних зон находятся в противофазе. Поэтому

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots$$

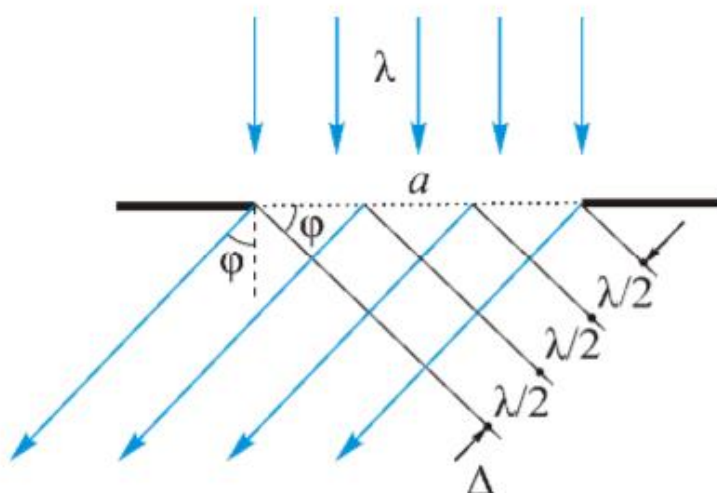
Амплитуда A_m убывает очень медленно и поэтому можно считать

$$A_m = \frac{A_{m-1} + A_{m+1}}{2}$$

После перегруппировки

$$A = \frac{A_1}{2} + \left(\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2} \right) + \left(\frac{A_3}{2} - A_4 + \frac{A_5}{2} \right) + \dots = \frac{A_1}{2}$$

Дифракция Фраунгофера на щели



Применяя метод зон Френеля, разобьем щель на зоны. Разность хода лучей, идущих от краев каждой зоны равна $\lambda/2$. Тогда на ширине щели уместится $\Delta : \lambda/2$ зон.

a – ширина щели; Δ - разность хода от краев зоны.

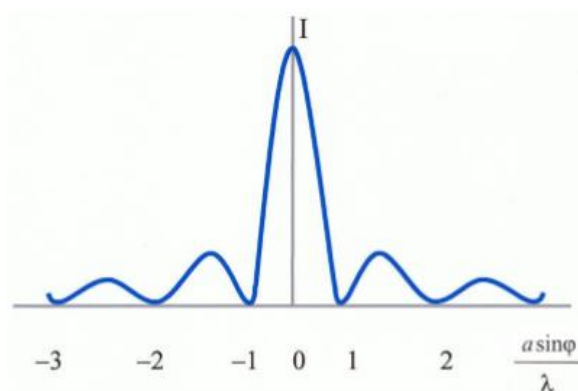
Колебания двух соседних зон гасят друг друга. Чем больше угол, тем максимумы меньше.

Если число зон Френеля четное, то наблюдается минимум освещенности.

Если число зон Френеля нечетное, то наблюдается \approx максимум освещенности.

Условие минимума: $a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$

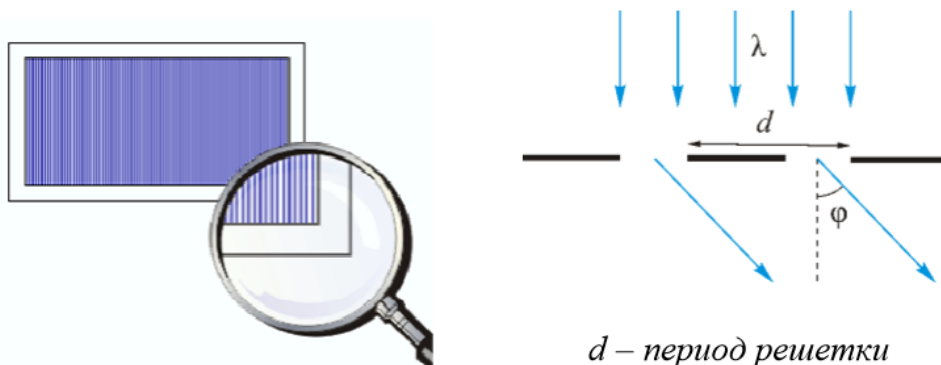
Условие максимума: $a \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$



Отношения максимумов: $1 : 0,045 : 0,016$

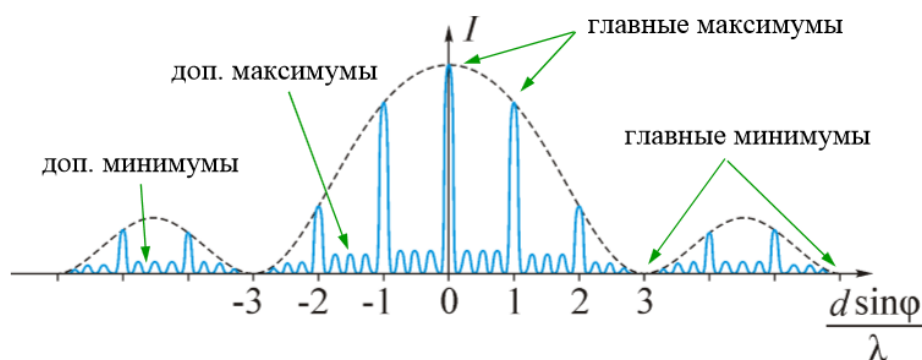
Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке

Дифракционная решетка – система одинаковых щелей, разделенных равными по ширине непрозрачными промежутками.



d – период решетки

При дифракции на дифракционной решетке имеет место наложение лучей, идущих как от одной и той же щели, так и от соседних щелей. В одних направлениях щели гасят друг друга, а в других – усиливают.



Распределение интенсивности

Условие главных максимумов

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

m – порядок главного максимума

Для данных направлений колебания от отдельных щелей взаимно усиливают друг друга. Интенсивность главного максимума в N^2 раз превосходит интенсивность от щели в этом же направлении.

Наибольший порядок главного максимума $\left[|\sin \varphi| \leq 1 \right]$

$$m \leq d/\lambda$$

Главные максимумы возникают в направлениях, если оптическая разность хода между соседними когерентными пучками равна целому числу длин волн.

Условие главных минимумов

$$a \sin \varphi = \pm m \lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

a – ширина щели

В данных направлениях интенсивность, создаваемая каждой из щелей в отдельности, равна нулю, поэтому и результирующая интенсивность в этих направлениях будет также равна нулю.

Условие дополнительных минимумов

$$d \sin \varphi = \pm \frac{m'}{N} \lambda \quad (m' = 1, 2, \dots, \text{кроме } N, 2N, \dots)$$

N – число щелей

Между соседними главными максимумами имеется $N-1$ дополнительный минимум. В данных направлениях колебания от отдельных щелей взаимно погашают друг друга.

Между дополнительными минимумами располагаются $N-2$ слабых дополнительных максимумов. Интенсивность этих максимумов не превышает $1/22$ интенсивности ближайшего главного максимума.