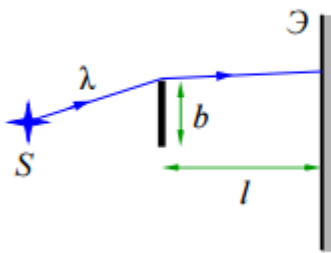


## 26. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля на круглом отверстии и диске. Зонная пластинка

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.

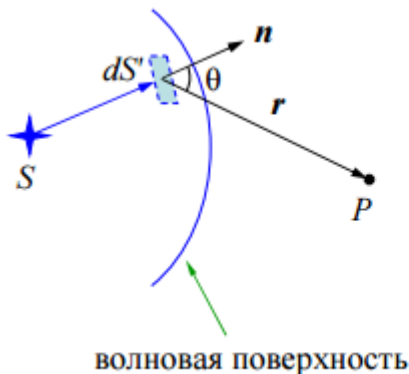
### Виды дифракции



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

### 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

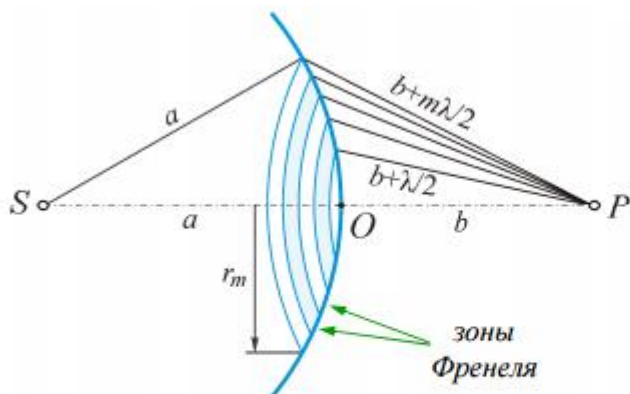
Действие источника заменяется светящейся поверхностью (можно представить «матовую лампочку»).

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

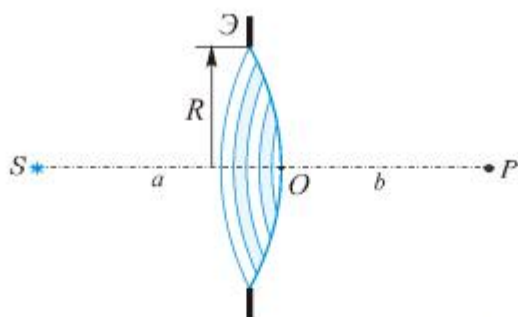
$$A_m = \frac{A_{m-1} + A_{m+1}}{2}$$

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 Френеля на круглом отверстии

Пусть непрозрачный экран с круглым отверстием некоторого радиуса  $R$  освещается сферической волной.



Если открыто четное число зон  $m$ , то  $A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_m}{2}$



В точке  $P$  (центре) – темное пятно

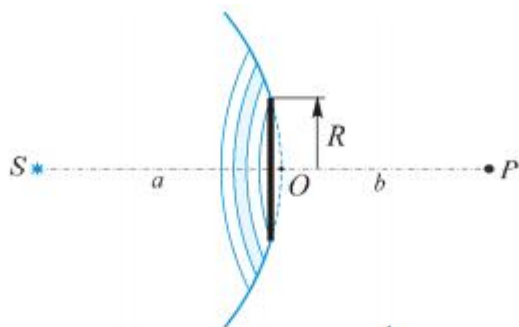
Если открыто нечетное число зон  $m$ , то  $A = \frac{A_1}{2} + \frac{A_m}{2}$



В точке  $P$  (центре) – светлое пятно

Вывод: экран с отверстием дает увеличение амплитуды в  $\sim 2$  раза, а интенсивности – в  $\sim 4$  раза.

### Дифракция Френеля на диске

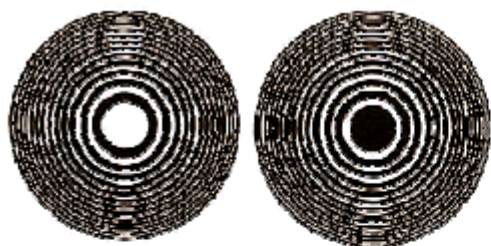


Если диска закрывает  $m$  зон, то  $A = \frac{A_{m+1}}{2}$



В точке  $P$  (центре) – светлое пятно

## Зонная пластинка



Зонные пластинки Френеля.  
Слева – открыты нечетные  
зоны, справа – чётные.

Если на пути световых волн поставить такую пластинку, то интенсивность света в точке  $P$  резко возрастает. Амплитуда в этой точке будет равна сумме амплитуд от нечетных (или четных) зон. Соответственно интенсивность  $I = 4n^2 I_0$ , где  $I_0$  – интенсивность при свободном распространении света,  $n$  – число открытых зон.

Пластинка подобна линзе:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{m\lambda}{r_m^2}$$