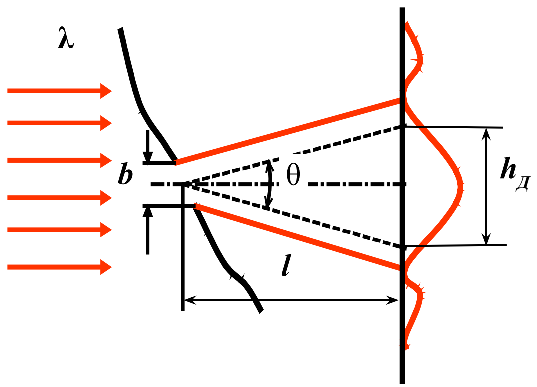
ДИФРАКЦИЯ СВЕТОВЫХ ВОЛН

- Введение
- Принцип Гюйгенса-Френеля
- Метод зон Френеля
- Зонные пластинки
- Дифракция Френеля на отверстии и диске

Введение

Дифракцией называется совокупность явлений, наблюдаемых при распространении света в среде с резкими оптическими неоднородностями и связанных с отклонением от законов геометрической оптики.

Дифракция возникает в тех случаях, когда **размеры** оптических неоднородностей сравнимы с **длиной волны**.



$$\theta = \frac{\lambda}{b}$$ - всякое пространственное ограничение волны вызывает ее расхождение.

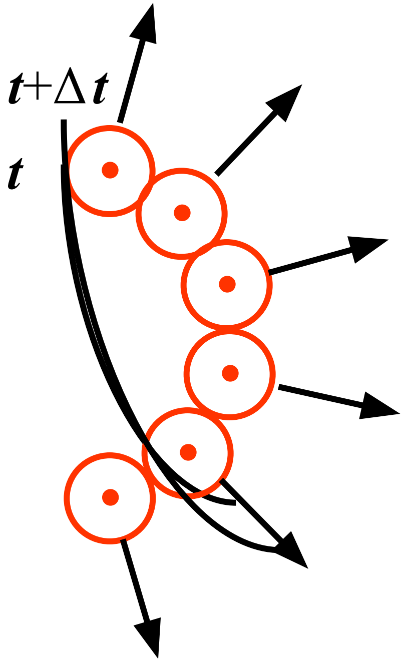
$$h_д = \theta l = \frac{\lambda}{b} l$$ -дифракционное уширение.

Если $h_д \ll b$ -геометрическая оптика.

Если $h_д \approx b$, то $l = l_д \approx \dfrac{b^2}{\lambda}$. $\quad l_д \approx \dfrac{b^2}{\lambda}$ -длина дифракции

Дифракция проявляется при $l \geq l_д$ т.е. $\lambda \geq \dfrac{b^2}{l}$.

Принцип Гюйгенса-Френеля

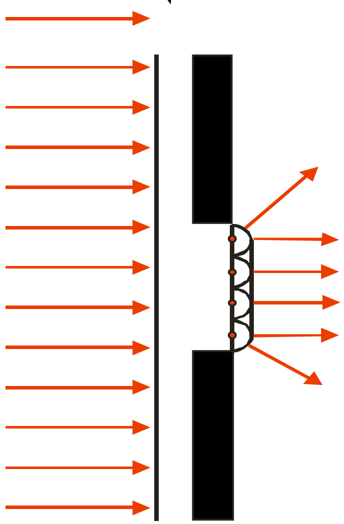


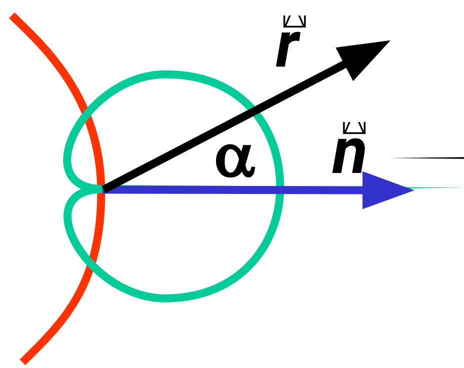
1. Каждая точка пространства до которой дошло волновое возмущение может рассматриваться как источник вторичных сферических волн.

2. Фронт волны в каждый последующий момент времени строится как огибающая к фронтам вторичных сферических волн.

3. Мнимые вторичные источники когерентны. Распространяющаяся волна может рассматриваться как результат интерференции вторичных волн.

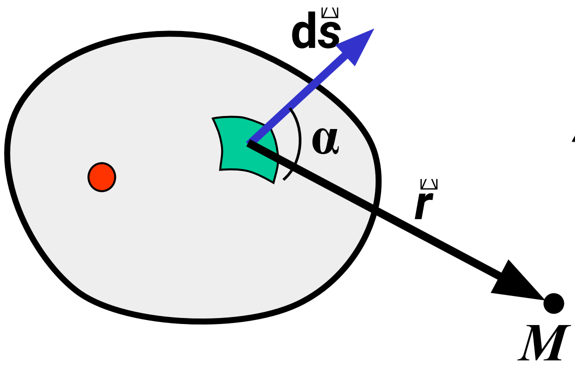
4. Диаграмма направленности излучения вторичных источников имеет специфический вид.





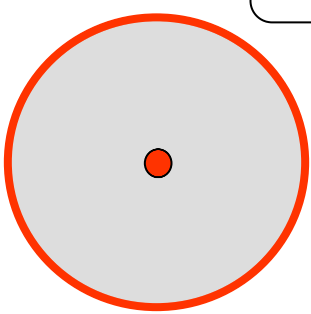
$$K(\alpha) = \begin{cases} 1 & \text{при } \alpha = 0 \\ 0 & \text{при } \alpha = \pi \end{cases}$$

Аналитическое выражение принципа Гюйгенса-Френеля



$$A_M = \oint K(\alpha)\frac{\boxed{a(x,y,z)}}{r}\cos\left(\omega t - \vec{k}\vec{r} + \boxed{\beta(x,y,z)}\right)ds$$

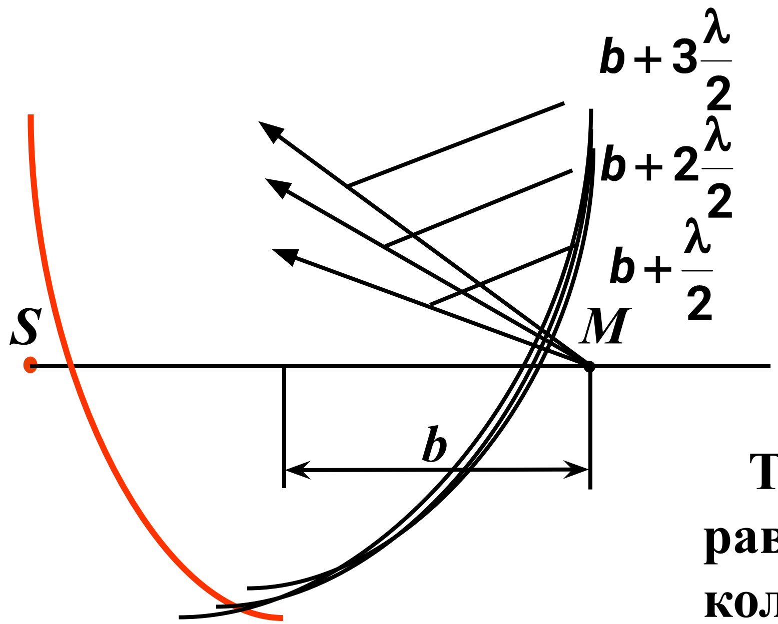
$a = \text{const};$
$\beta = \text{const}$



$$A_M = \oint K(\alpha)\frac{a}{r}\cos\left(\omega t - \vec{k}\vec{r} + \beta\right)ds$$

Волновая поверхность

Метод зон Френеля



Разобьем волновую поверхность на зоны таким образом, чтобы разность хода от соответствующих точек соседних зон до точки наблюдения была равна $\lambda/2$ (разность фаз - π).

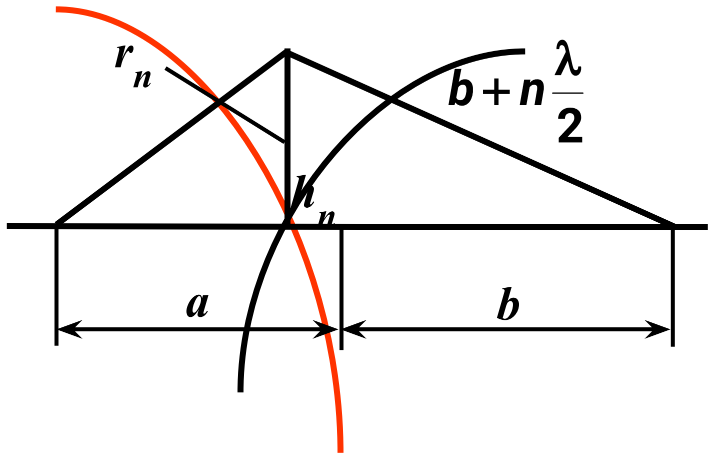
Тогда амплитуда колебаний в точке *M* равна алгебраической сумме амплитуд колебаний, возбуждаемых всеми зонами Френеля.

$$\vec{A}_M = \vec{A}_1 + \vec{A}_2 + \vec{A}_3 + \ldots\ldots + \vec{A}_n$$

Соседние зоны возбуждают колебания в точке *M* в противоположных фазах, поэтому

$$A_M = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \ldots\ldots \pm A_n$$

Радиус и площадь зон Френеля



Площадь *n*-ой зоны:

$$\Delta S_n = S_n - S_{n-1}$$

$$S_n = 2\pi a h_n$$

Из рисунка видно, что

$$r_n^2 = a^2 - (a-h_n)^2 = \left(b + n\frac{\lambda}{2}\right)^2 - (b+h_n)^2$$

$$r_n^2 = 2ah_n - h_n^2 = bn\lambda + n^2(\lambda/2)^2 - 2bh_n - h_n^2$$

Отсюда высота сферического сегмента:

$$h_n = \frac{bn\lambda + n^2(\lambda/2)^2}{2(a+b)}$$

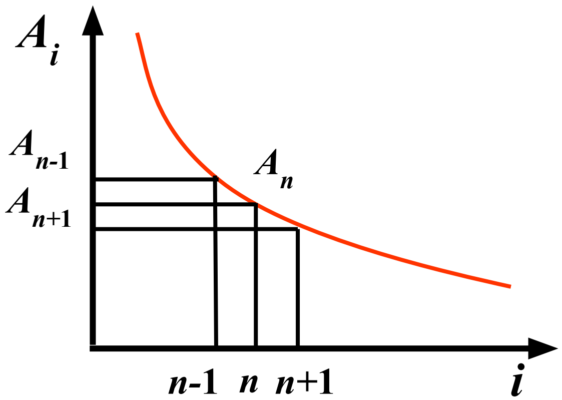
для малых *n* $n^2(\lambda/2)^2 << 1$

$$h_n = \frac{bn\lambda}{2(a+b)}$$

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

$$\boxed{r_n = \sqrt{\frac{ab}{a+b}n\lambda}}$$

Определение амплитуды колебаний с помощью метода зон Френеля



Амплитуда колебаний, возбуждаемых n-ой зоной Френеля монотонно убывает с ростом номера зоны.

$$A_n = \frac{A_{n-1} + A_{n-1}}{2};$$

$$A_M = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \ldots\ldots \pm A_\infty;$$

$$A_M = \frac{A_1}{2} + \left(\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2}\right) + \left(\frac{A_3}{2} - A_4 + \frac{A_5}{2}\right) + \ldots. \pm \frac{A_n}{2};$$

0 0

$A_M = \frac{A_1}{2}$ - **амплитуда колебаний, возбуждаемых всей волновой поверхностью.**

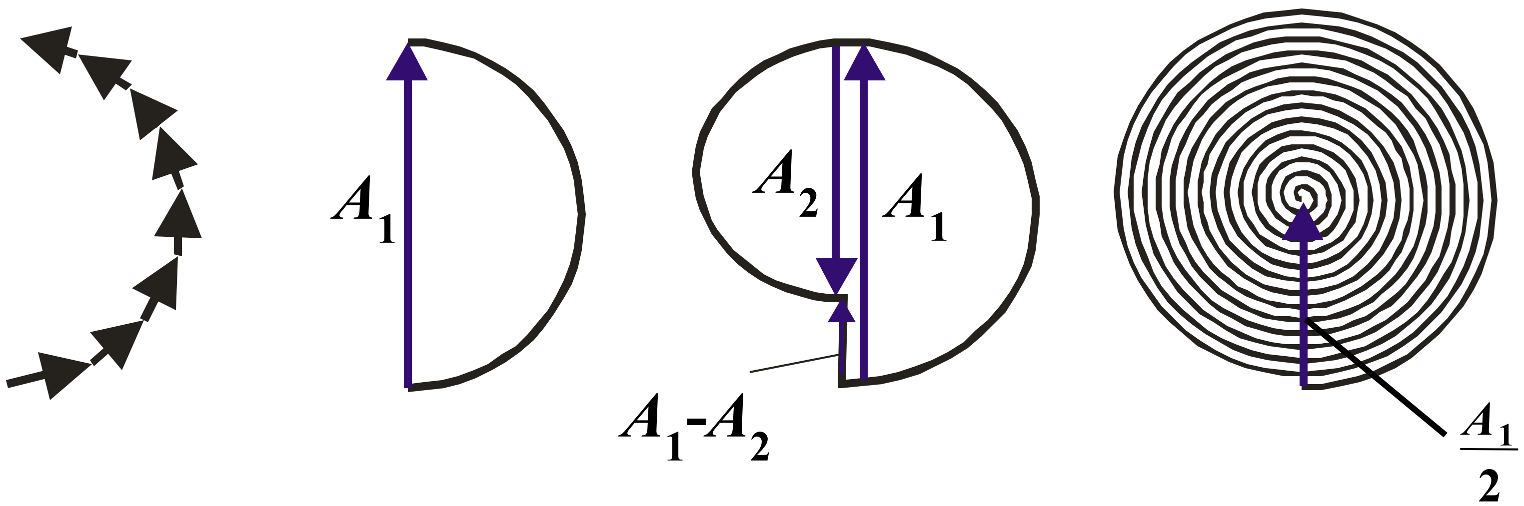
Если число зон Френеля конечно, то

$$A_M = \frac{A_1}{2} \pm \frac{A_n}{2};$$

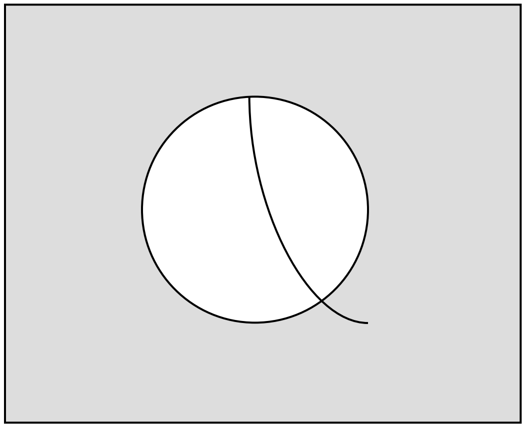
+ - для нечетного числа зон

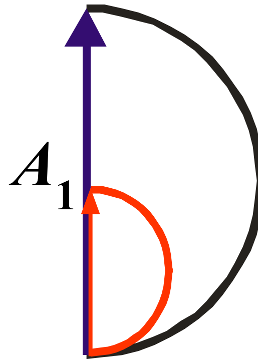
– - для четного числа зон

Графическое определение амплитуды

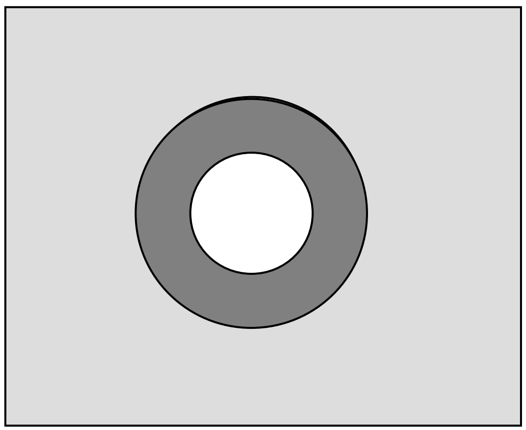


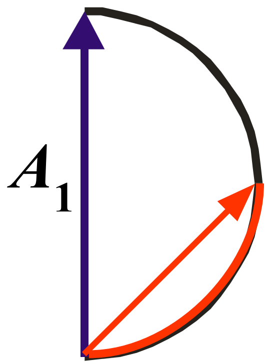
Пример. Пусть в отверстии укладывается одна зона Френеля. Как изменится амплитуда, если закрыть половину площади отверстия?





$$A = \frac{A_1}{2}$$

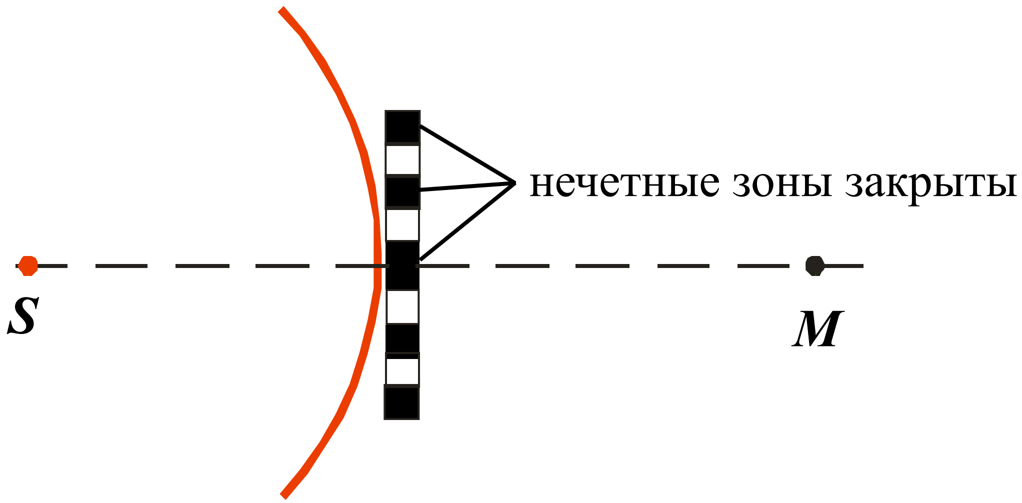




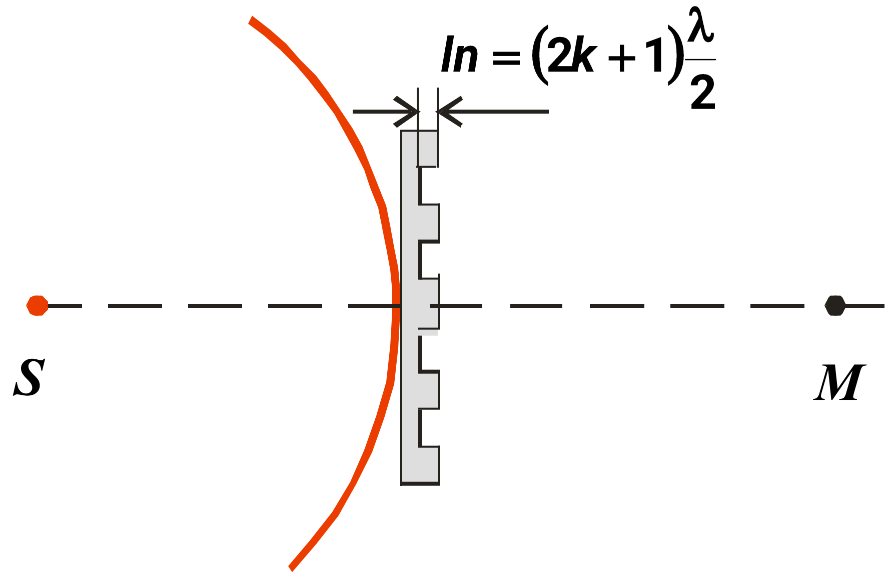
$$A = \frac{A_1}{\sqrt{2}}$$

Зонные пластинки

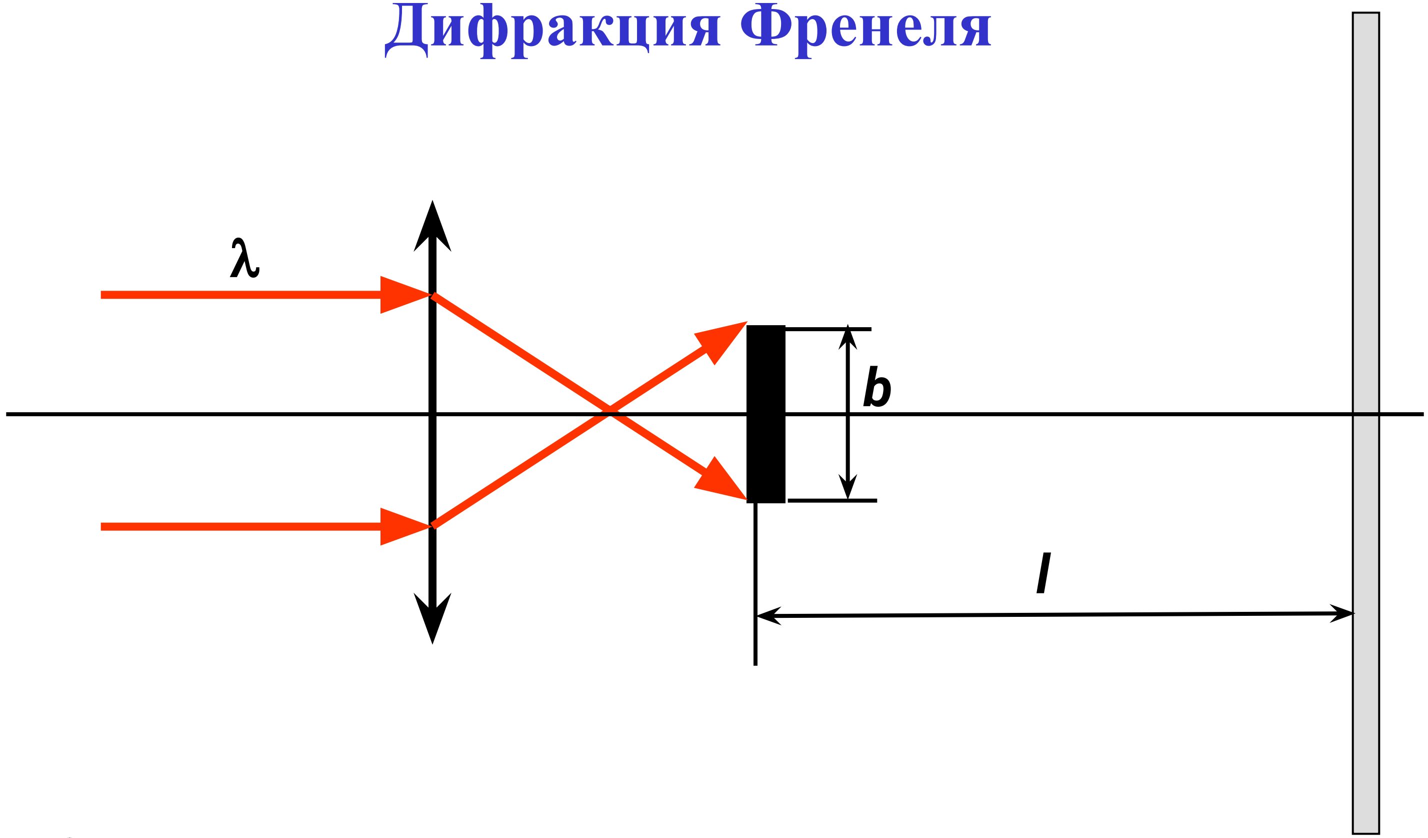
Амплитудная



Фазовая



Дифракция Френеля



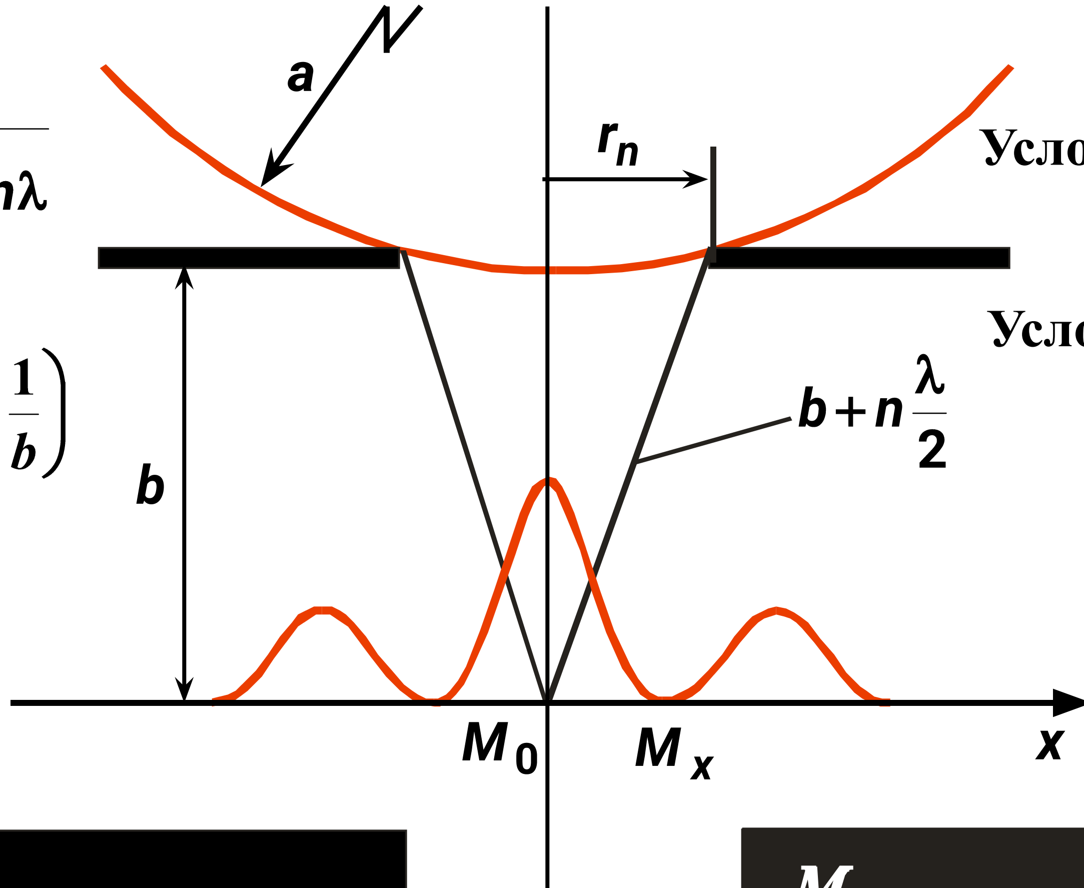
$\frac{b^2}{\lambda l} \sim 1$ – дифракция Френеля (дифракция сферических волн)

$\frac{b^2}{\lambda l} >> 1$ – геометрическая оптика

Дифракция Френеля на круглом отверстии

$$r_n = \sqrt{\frac{ab}{a+b} n\lambda}$$

$$n = \frac{r_n^2}{\lambda}\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right)$$

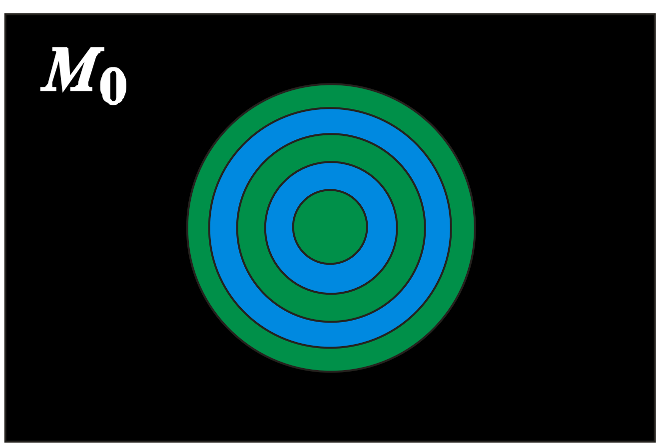


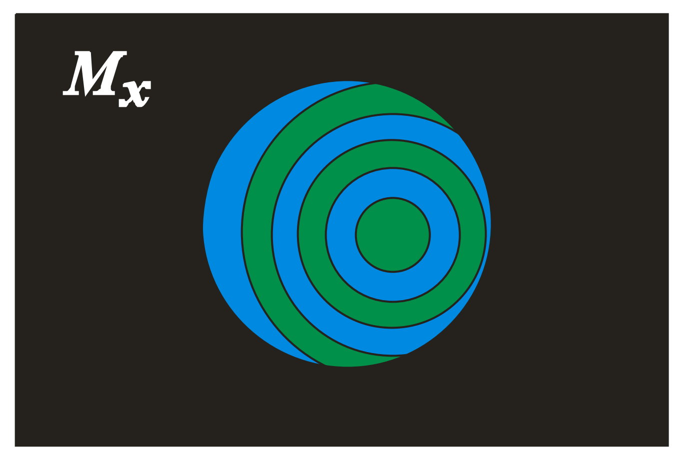
Условия минимума:

n - четное

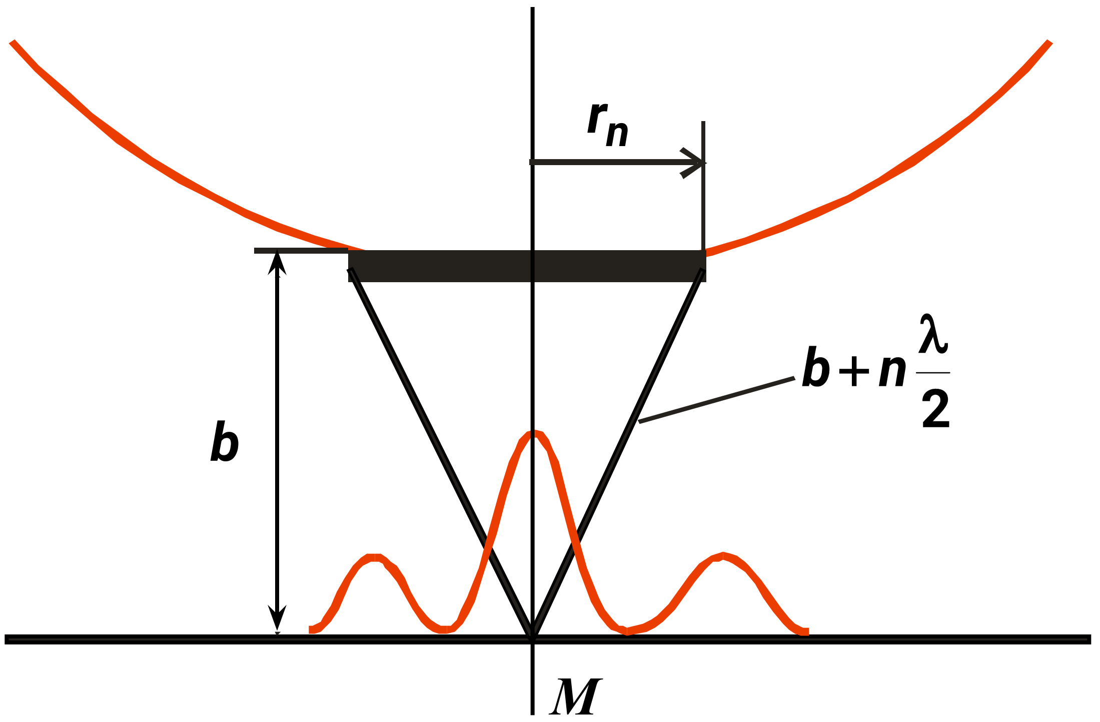
Условия максимума:

n - нечетное





Дифракция Френеля на круглом диске



$$n = \frac{r_n^2}{\lambda}\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right)$$ - n зон закрыто.

$$A_M = \frac{A_{n+1}}{2}$$ В точке M всегда максимум.