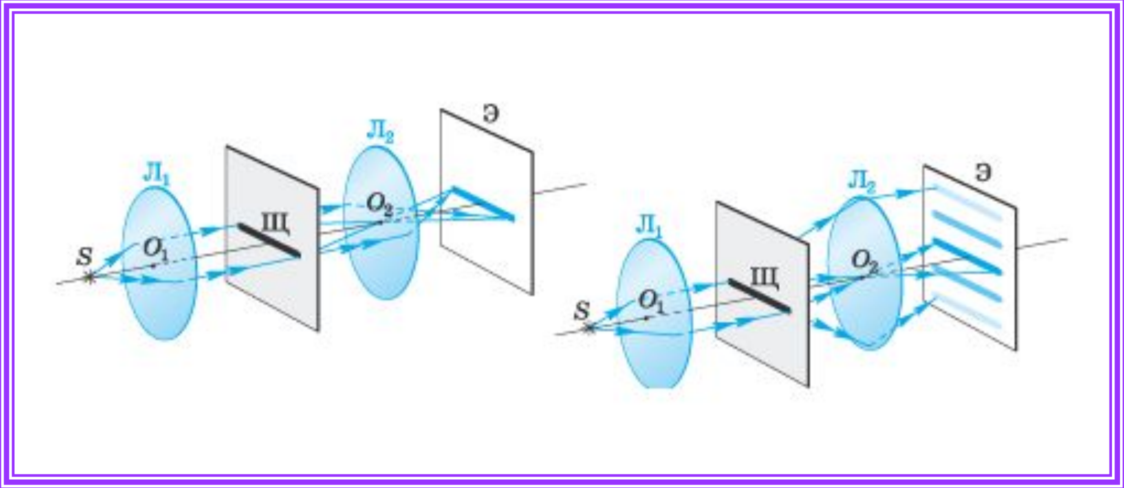
Лекция 9 **ДИФРАКЦИЯ СВЕТА**

Вопросы:

1. **Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля.**
2. **Виды дифракции света. Дифракция на простейших преградах.**
3. **Дифракционная решетка.**

Дифракцией света

называется совокупность явлений, наблюдаемых при распространении света в среде с резкими неоднородностями (вблизи границ непрозрачных тел, сквозь малые отверстия, щели и т.д.) и связанных с отклонениями от законов геометрической оптики.



Дифракция приводит к огибанию световыми волнами препятствий и проникновению света в область геометрической тени.

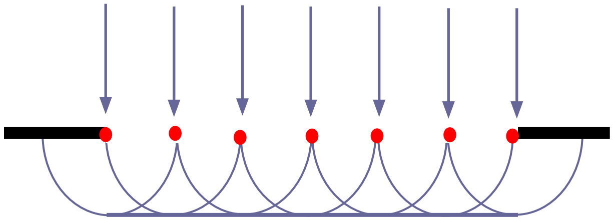
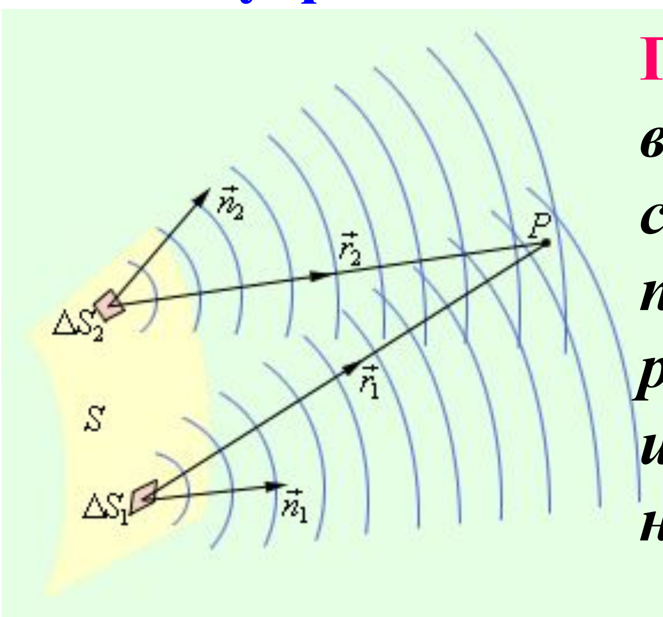


Схема к принципу Гюйгенса

Принцип Гюйгенса: ***каждая точка волновой поверхности является источником вторичных волн, распространяющихся вперед по всем направлениям, в том числе и в область геометрической тени препятствия*** **(это чисто геометрический принцип).**

Французский ученый Огюст Френель дополнил принцип Гюйгенса идеей об интерференции вторичных волн и придал ему физическое содержание.



Принцип Гюйгенса-Френеля: ***световая волна, возбуждаемая источником света, в любой точке может быть представлена как результат интерференции когерентных вторичных волн, излучаемых фиктивными источниками на волновой поверхности.***

Метод зон Френеля

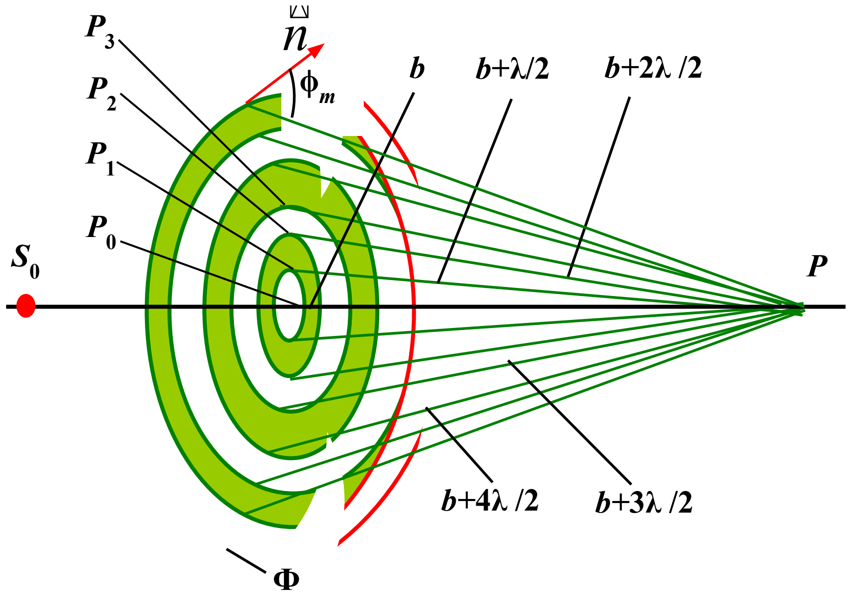


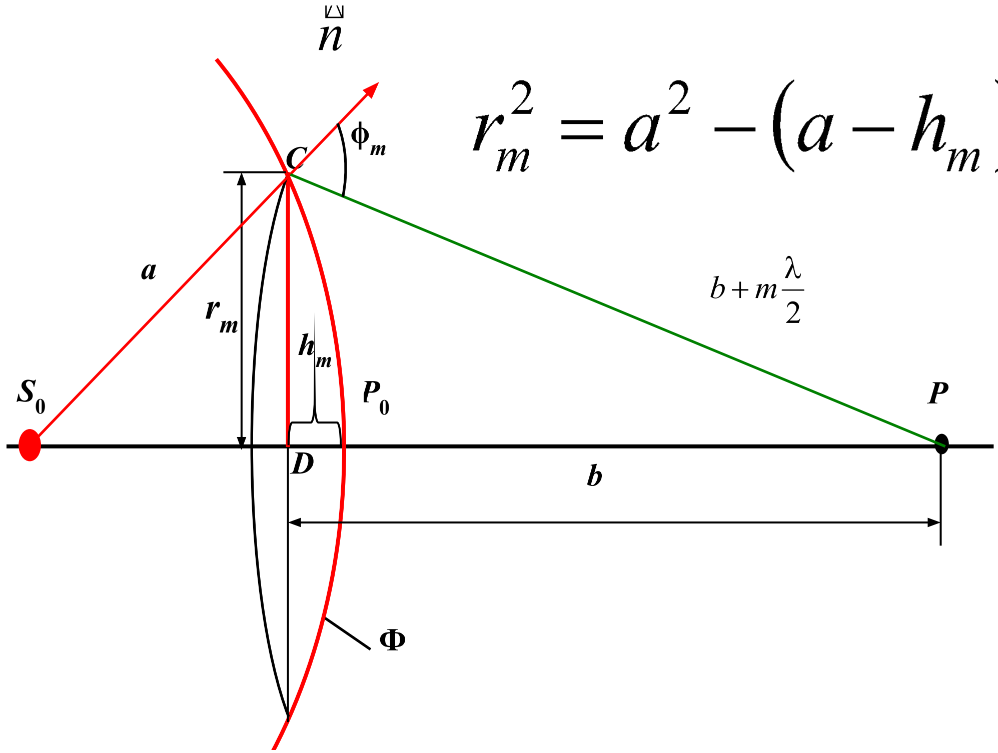
Схема формирования зон Френеля

Волновая поверхность разбивается на кольцевые зоны, являющиеся источниками когерентных вторичных световых волн, которые действуют в противофазе друг с другом.

$$P_1P - P_0P = P_2P - P_1P = \ldots = \lambda/2$$

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \ldots$$ ***– амплитуда результирующего светового колебания в точке P.***

Таким образом, действие сферической световой волны от точечного источника S_0 заменяется действием фиктивных источников когерентных вторичных волн.



Расчетная схема

$$r_m^2 = a^2 - (a - h_m)^2 = \left(b + m\frac{\lambda}{2}\right)^2 - (b + h_m)^2$$

$$\lambda \ll a; \quad \lambda \ll b$$

$$h_m = \frac{bm\lambda}{2(a+b)}$$

Площадь m-й зоны Френеля:

$$S_m = \sigma_m - \sigma_{m-1} = 2\pi a\left(h_m - h_{m-1}\right) = \frac{\pi ab\lambda}{a+b}(m - m + 1) = \frac{\pi ab\lambda}{a+b}$$

Поскольку площадь *m*-ой зоны не зависит от номера зоны *m*, следовательно, площади всех зон Френеля одинаковы, т.е. содержат одинаковое число вторичных источников когерентных световых волн.

Оценка общего числа зон Френеля и радиуса *m*-ой зоны:

$$a = b = 10 \text{ см} = 0{,}1 \text{ м}; \quad \lambda = 0{,}5 \text{ мкм};$$

$$N = \frac{2\pi a^2}{S_m} = \frac{2\pi a^2}{\pi a b \lambda}(a+b) = \frac{2a(a+b)}{b\lambda} = 8\cdot 10^5$$

Поскольку $A_1 > A_2 > A_3 > \ldots > A_m > \ldots$ и $A_m = \dfrac{A_{m-1} + A_{m+1}}{2}$,

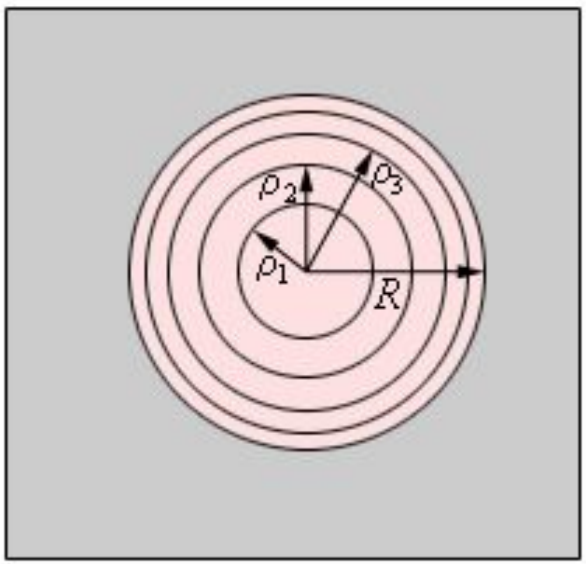
то: $$A = A_1 - A_2 + A_3 - \ldots = \frac{A_1}{2} + \left(\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2}\right) +$$

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

<u>Вывод</u>: колебания, вызываемые в точке *P* полностью откры-той сферической волновой поверхностью, имеют такую же амплитуду, как если бы действовала только половина цен-тральной зоны Френеля.

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m\lambda} = 0{,}158 \text{ мм } (m = 1)$$

Следовательно, свет от источника S_0 в точку P распространяется в пределах очень узкого прямого канала, т.е. прямолинейно.



Справедливость метода зон Френеля подтверждается действием *зонных пластинок* – круглых пластинок, состоящих из чередующихся прозрачных и непрозрачных колец, оставляющих открытыми только несколько нечетных (или четных) зон.

Зонные пластинки резко усиливают интенсивность проходящего света, напр., если открыты 1-я, 3-я и 5-я зоны, то $I \approx 36 I_0$.

Критерий дифракции света

Характерные размеры задачи:

d *– характерный линейный размер препятствия;*

b *– расстояние до точки наблюдения;*

λ *– длина волны света.*

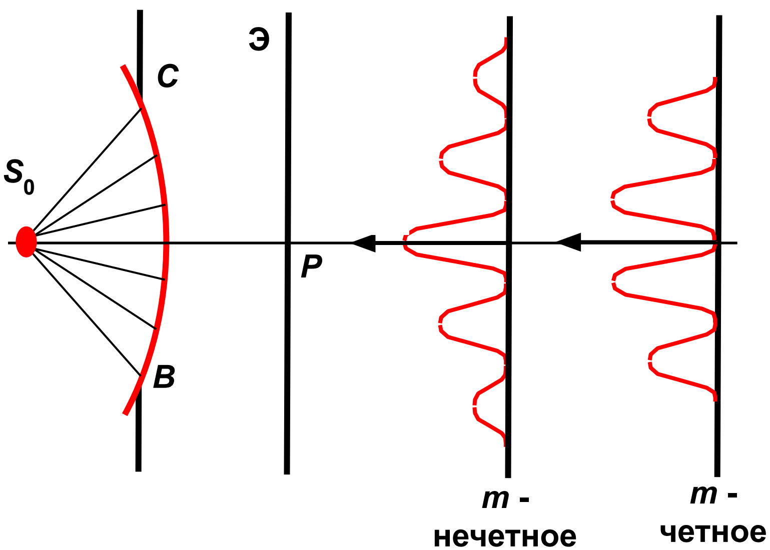
$$\mu = \frac{d^2}{b\lambda}$$

– критерий дифракции **(по порядку величины равен числу зон Френеля, укладывающихся на препятствии, для точки, лежащей против середины препятствия).**

Виды дифракции света

1. $\mu \ll 1$ – ***дифракция Фраунгофера*** **(или дифракция в параллельных лучах).**
2. $\mu \sim 1$ – ***дифракция Френеля*** **(или дифракция в сходящихся лучах).**
3. $\mu \gg 1$ – ***случай геометрической оптики.***

Дифракция Френеля на круглом отверстии

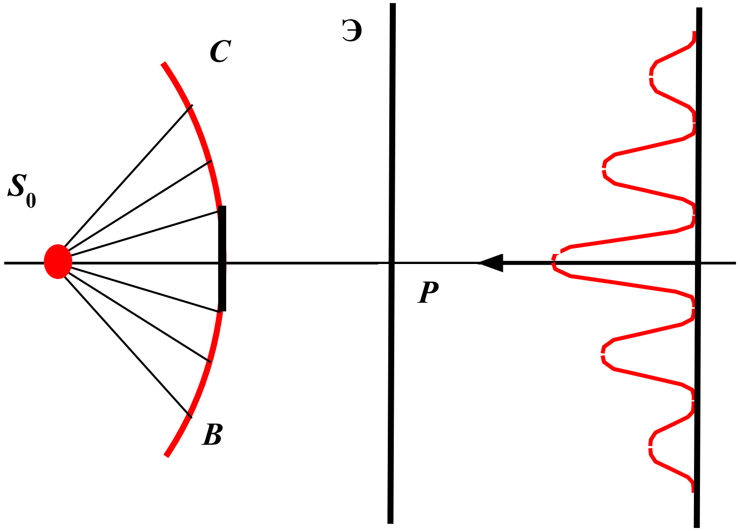


m зон на отверстии: $A = \dfrac{A_1}{2} \pm \dfrac{A_m}{2}$

1) **Знак «+» при нечетном m –** ***в центре дифракционной картины светлое пятно.***

2) **Знак «–» при четном m –** ***в центре дифракционной картины темное пятно.***

Дифракция Френеля на диске



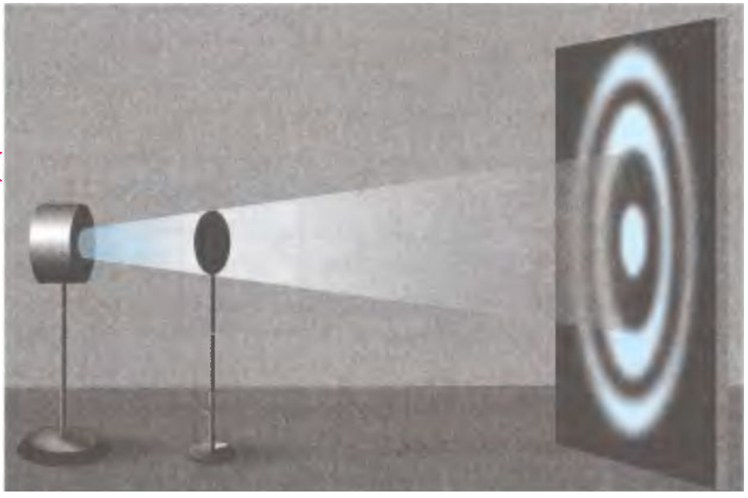
Диск закрывает m зон Френеля:

$$A = \frac{A_{m+1}}{2} + \left(\frac{A_{m+1}}{2} - A_{m+2} + \frac{A_{m+3}}{2}\right) + \ldots$$

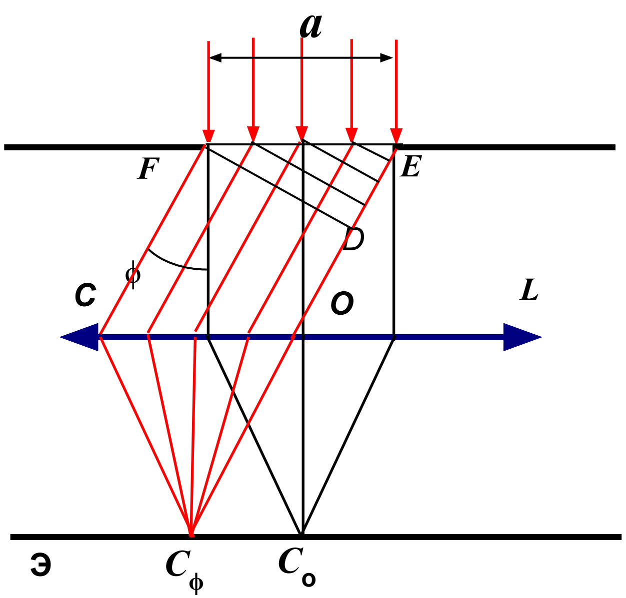
$$\Rightarrow \quad A = \frac{A_{m+1}}{2}$$

В центре картины (точка P) при любом (как четном, так и нечетном) m наблюдается светлое пятно.

Опыт по дифракции на диске, продемонстрированный на заседании Парижской Академии наук в 1818 г. и доказавший наличие светлого пятна в центре тени, отбрасываемой диском, принес всеобщее признание волновой теории света.



Дифракция Фраунгофера на одной щели



$$\Delta = ED = a \cdot \sin\ \varphi$$

– оптическая разность хода между крайними лучами FC и OE.

$$z = \frac{\Delta}{\lambda/2}$$ ***– число зон Френеля, укладывающихся на щели для точки C_φ.***

<u>Условие дифракционных минимумов</u>

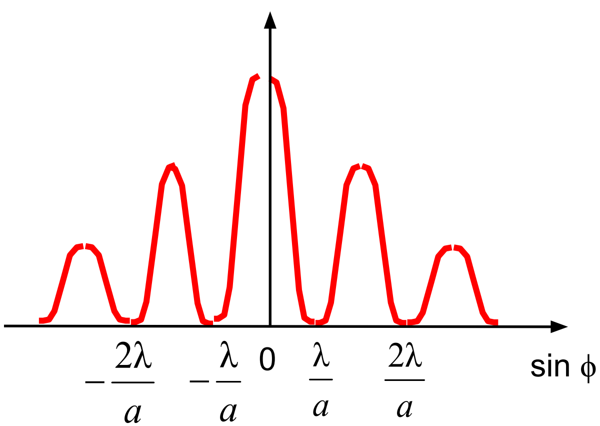
(число z – четное):

$$a \cdot \sin\ \varphi = \pm 2m\frac{\lambda}{2};\ \ m = 1,2,3,...$$

<u>Условие дифракционных максимумов</u>

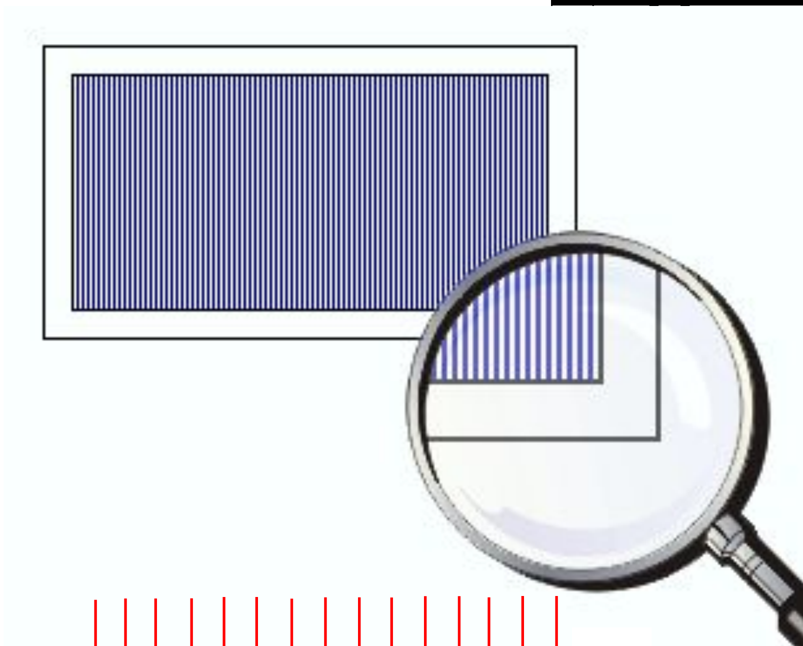
(число z – нечетное):

$$a \cdot \sin\ \varphi = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2};\ m = 1,2,3,...$$



Ðàñïðåäåëåíèå èíòåíñèâíîñòè

Дифракционная решетка



Дифракционная решетка – это периодическая структура, состоящая из параллельных щелей равной ширины, лежащих в одной плоскости и разделенных равными по ширине непрозрачными промежутками.

$$d = a + b$$ ***– период решетки.***

У современных решеток приходится до $(1/d) = 2000$ штрихов на миллиметр.

В решетке осуществляется многолучевая интерференция когерентных дифрагированных пучков света от всех щелей.

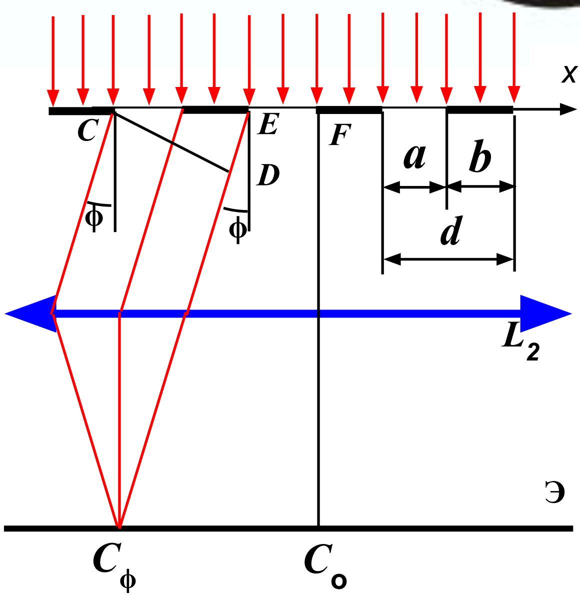


Схема дифракции Фраунгофера на решетке

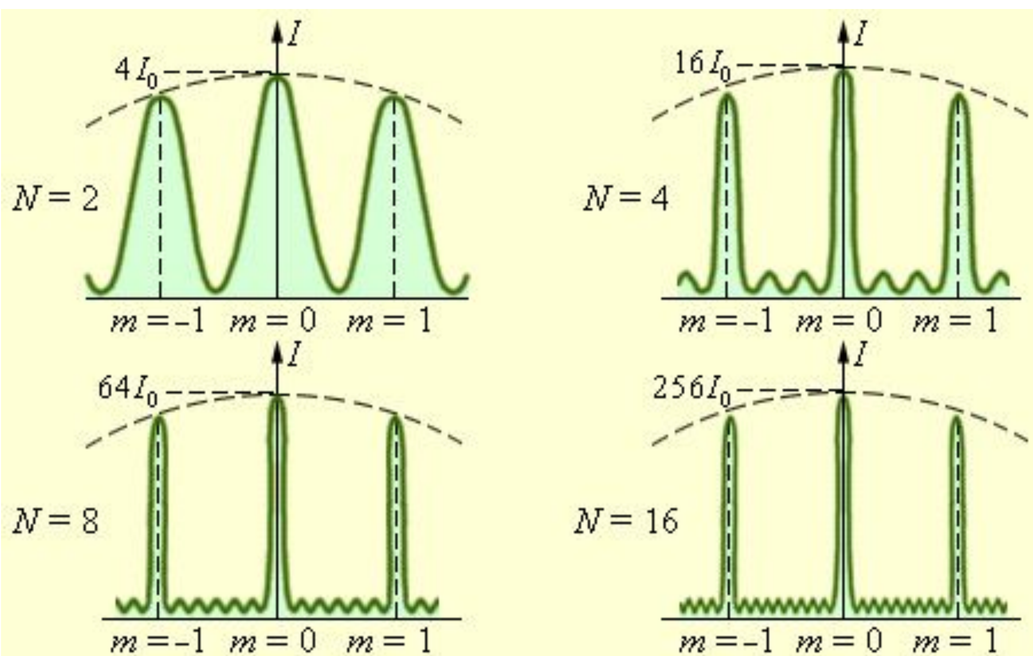
Условие главных дифракционных максимумов:

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

Условие главных дифракционных минимумов:

$$\Delta = a \cdot \sin \varphi = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots)$$

Здесь *m* – *порядок главного максимума (минимума).*

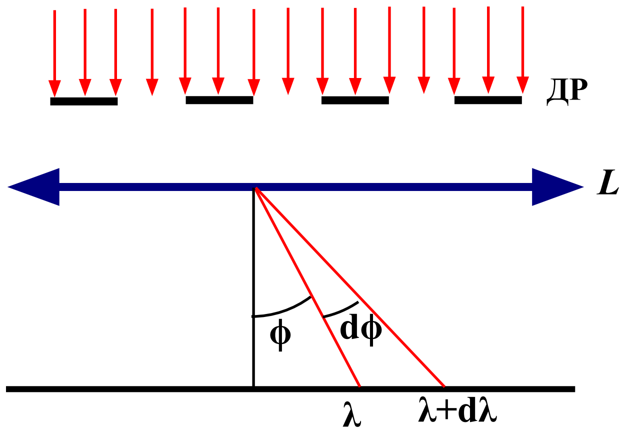


$$d \cdot \sin \varphi = m\lambda$$

$$\Rightarrow \quad m_{\max} \le \frac{d}{\lambda}$$

– предельное число главных максимумов, даваемых решеткой по одну сторону от центра дифракц. картины.

<u>Характеристики дифракционной решетки</u>

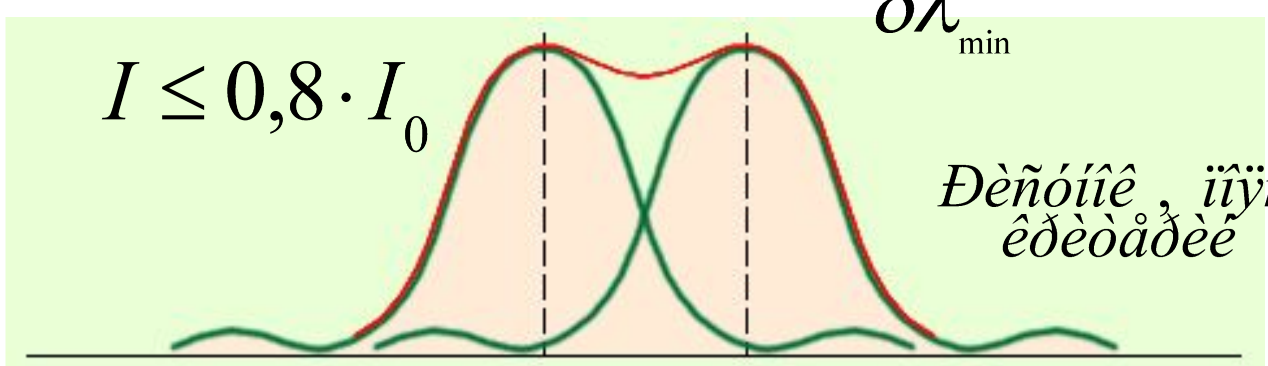


1. Угловая дисперсия *D* определяет угловое расстояние между двумя спектральными линиями, отличающимися по длине волны на единицу:

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{m}{d\cos\varphi} \quad \left[\frac{1}{\text{м}}\right]$$

2. Разрешающая способность R определяет минимальную разность близких длин волн $\delta\lambda_{\min}$, при которой две линии воспринимаются в спектре раздельно:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda_{\min}} = mN$$



Ðèñóíîê , ïîÿñíÿþùèé êðèòåðèé Ðýëåÿ