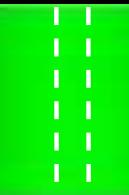


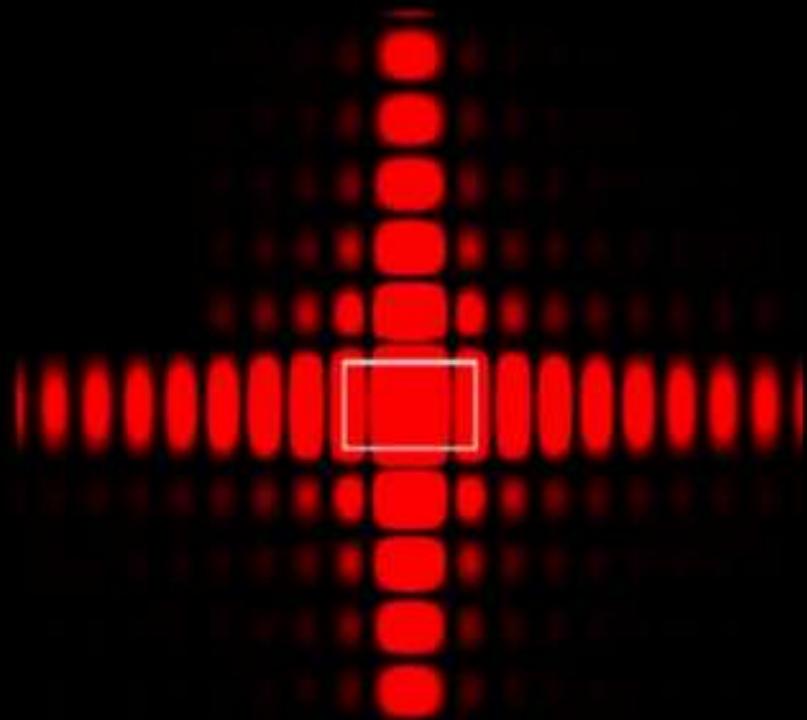
Лекция 12. Дифракция Фраунгофера



щель



Круглое отверстие

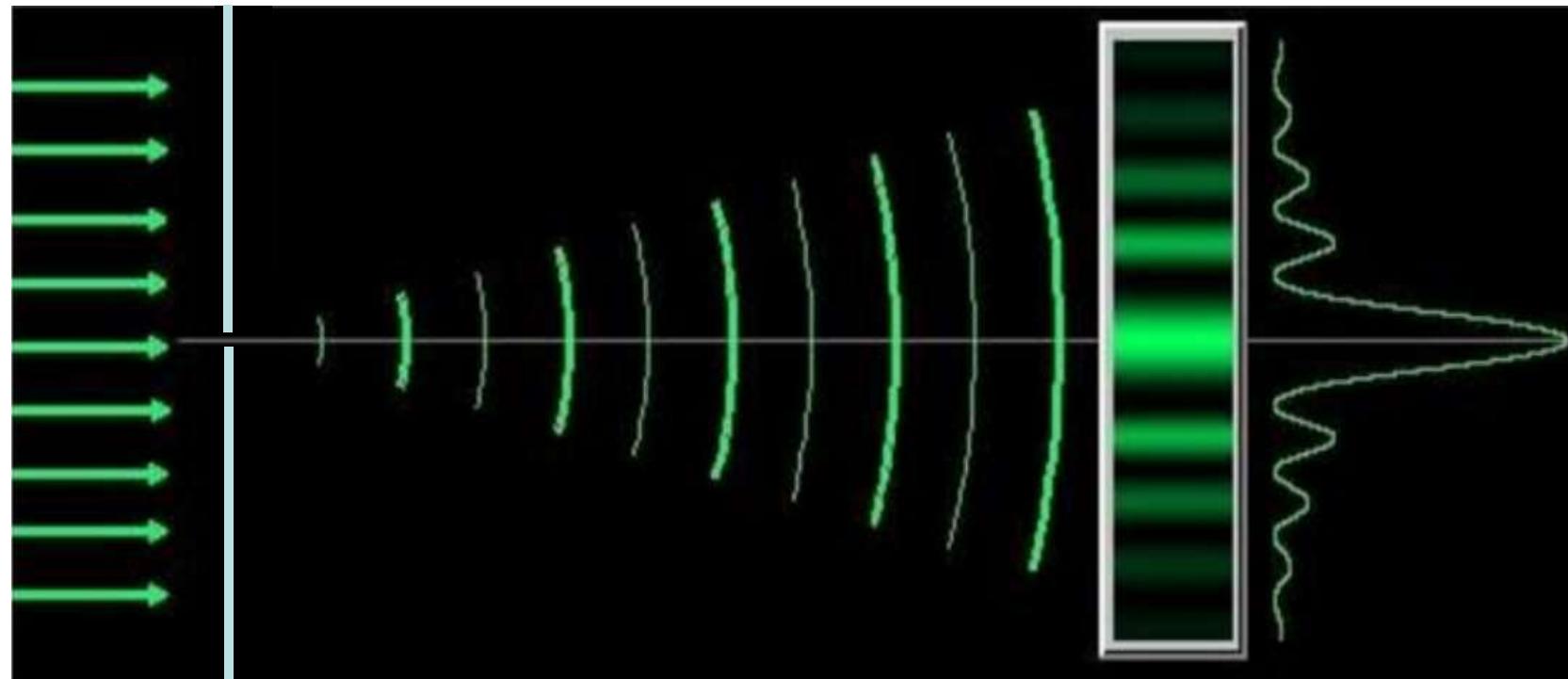


Прямоугольное отверстие

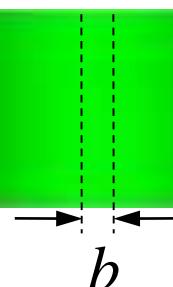
§ 1. Дифракция Фраунгофера на щели

Щель

3.1. Постановка задачи



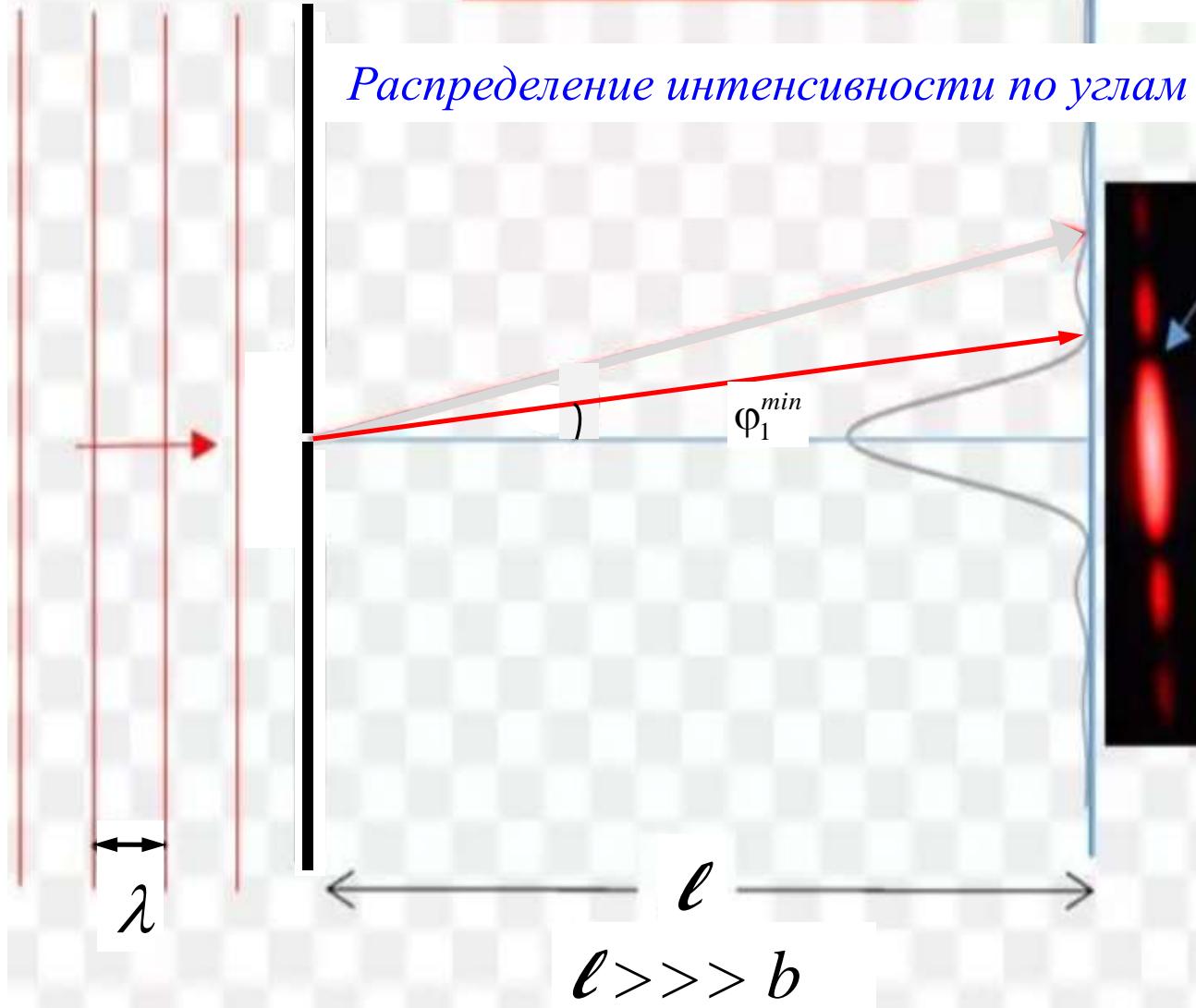
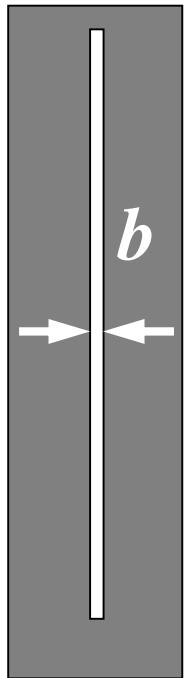
Центральный максимум: $\approx 95\%$ энергии



incident plane wave

Fraunhofer Diffraction

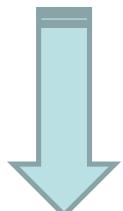
Распределение интенсивности по углам дифракции



Центральный
максимум

95%

Наблюдаем либо очень далеко («на бесконечности»),
либо в фокальной плоскости линзы



3.2. Угловое распределение интенсивности – минимумы и максимумы

(Распределение интенсивности по углам дифракции)

Ширина щели b

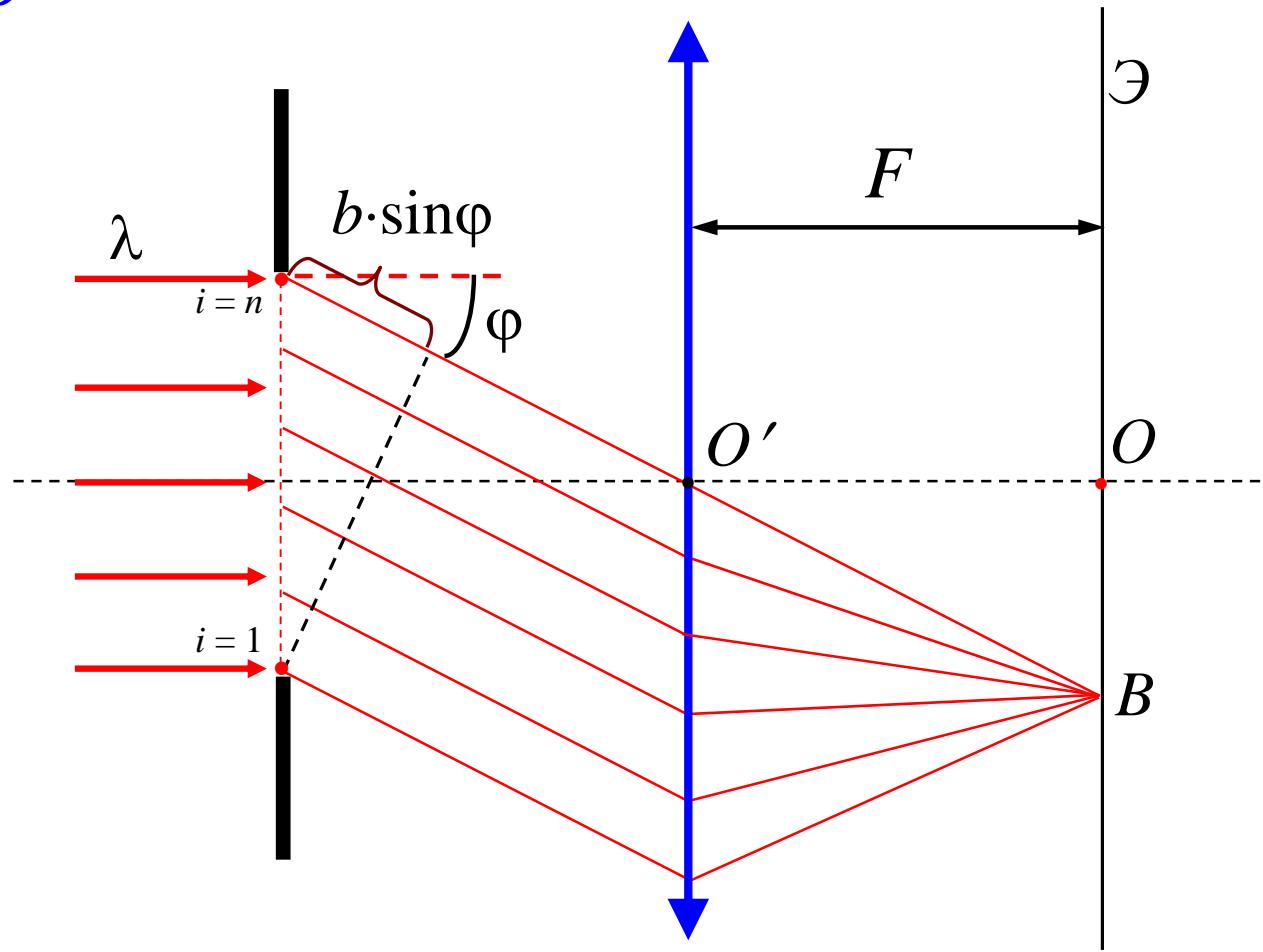
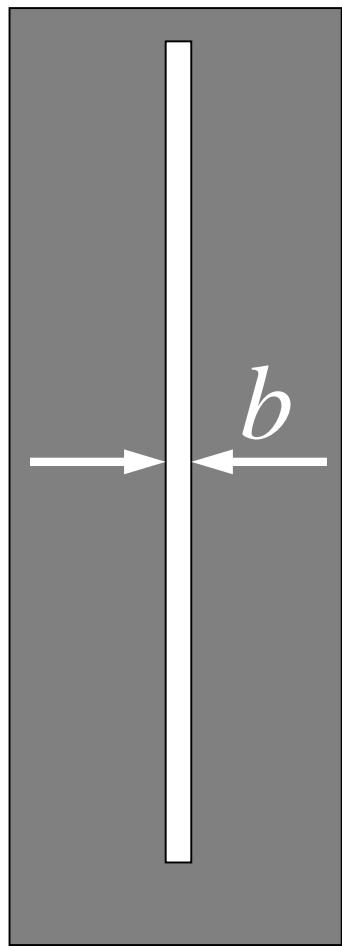
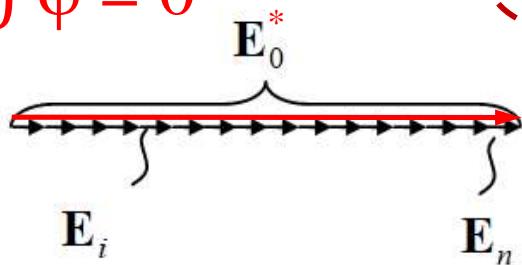


Рис. Схема наблюдения при дифракции Фраунгофера на щели
(с использованием линзы)

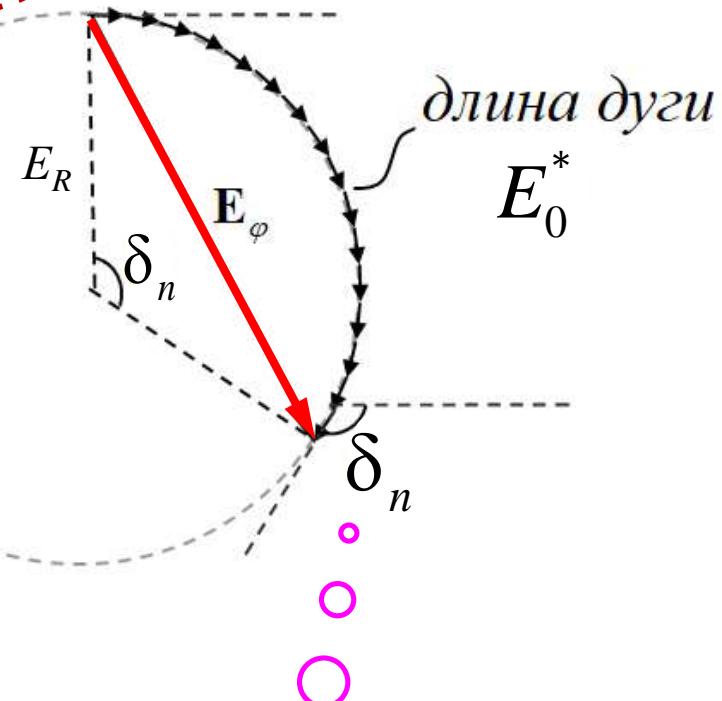
Векторные диаграммы

a) $\varphi = 0$

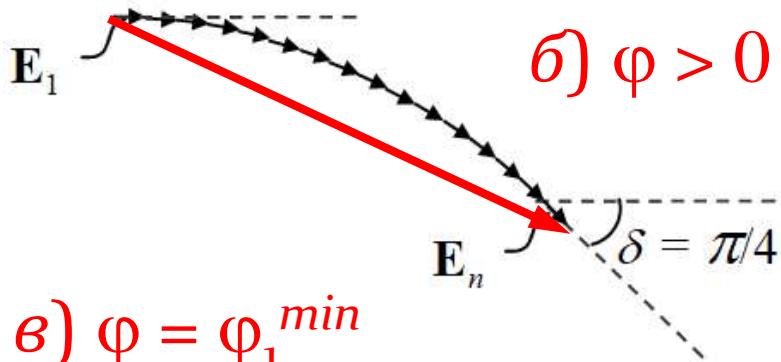


$$\Delta_n = b \sin \varphi !$$

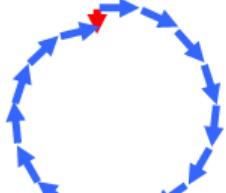
б) $0 < \varphi < \varphi_1^{\min}$



в) $\varphi > 0$



г) $\varphi = \varphi_1^{\min}$



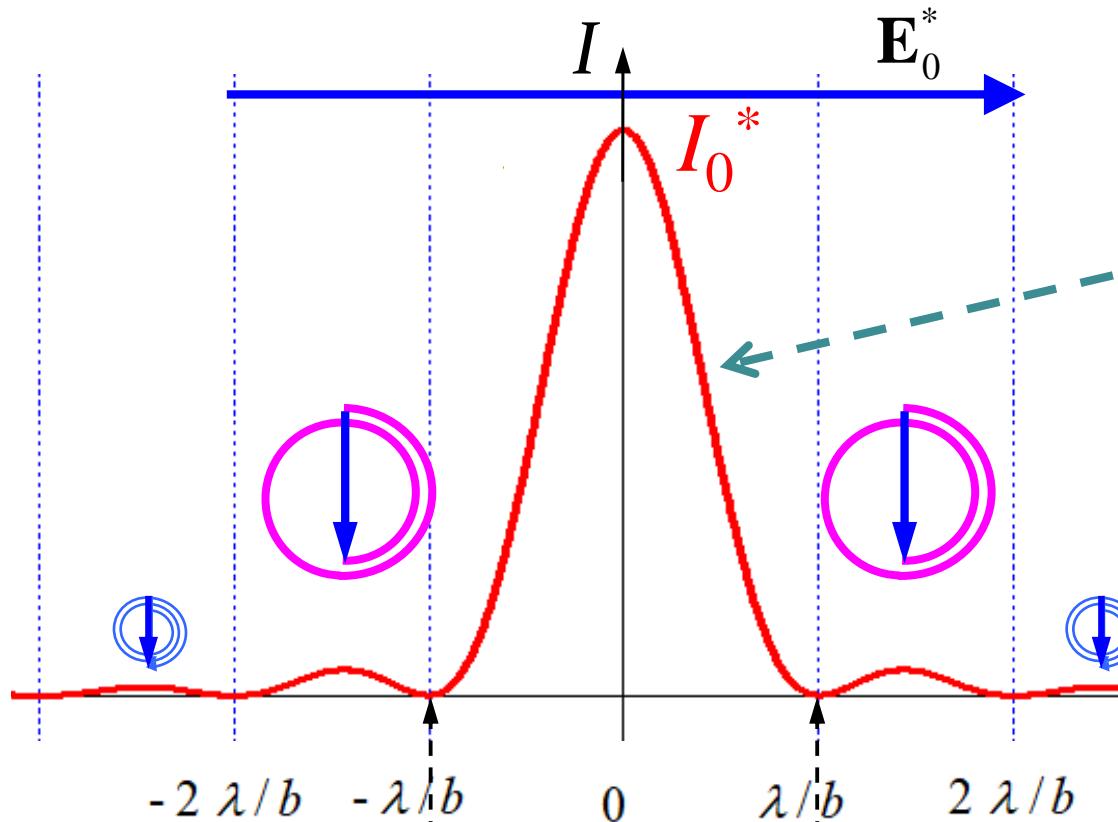
первый минимум

$$b \sin \varphi_1 = \pm \lambda$$

$$\delta_n = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot b \sin \varphi$$

Дифракция Фраунгофера на щели

центральный максимум



Задача 10.5:

$$I(\varphi) = I_0^* \cdot \frac{\sin^2(\delta/2)}{(\delta/2)^2}$$

$\sin\varphi$

Все минимумы:

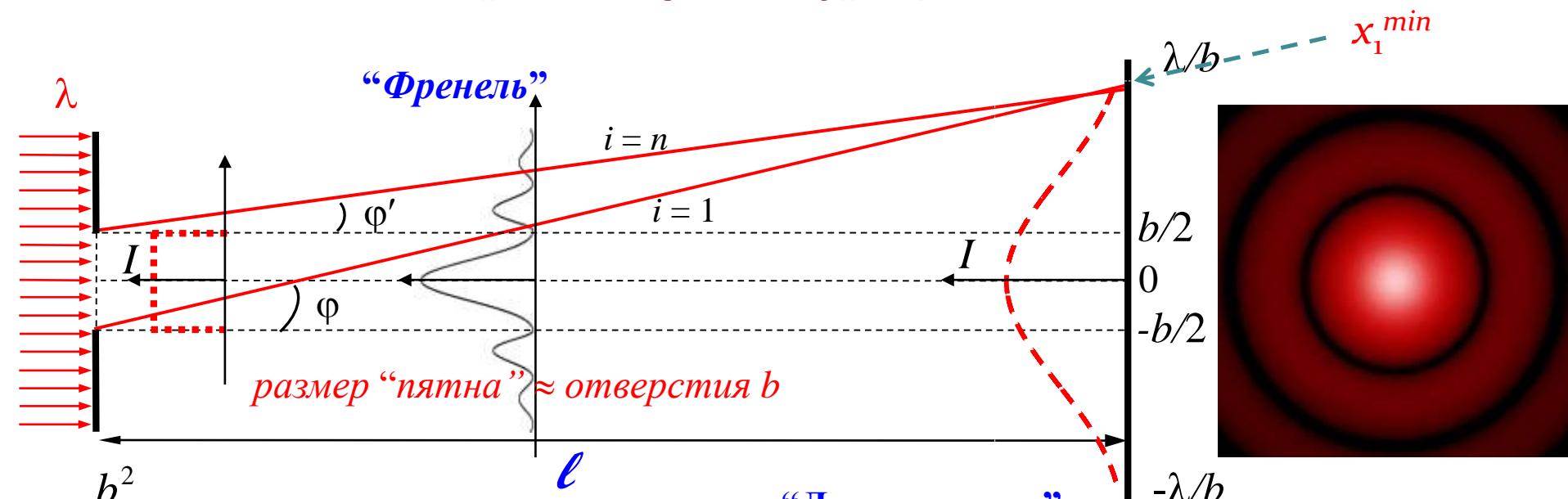
$$b \cdot \sin\varphi = \pm m\lambda$$

$$m = \pm 1, 2, 3, \dots$$

§4. Роль дифракции в формировании оптических изображений

4.1. Классификация дифракционных явлений

(“Уточнение о разных случаях дифракции”)



“Дальняя зона”:

$$\varphi \approx \frac{x+b/2}{l}; \quad \varphi' \approx \frac{x-b/2}{l}$$

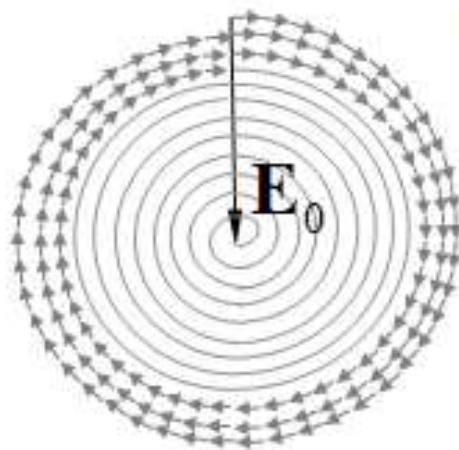
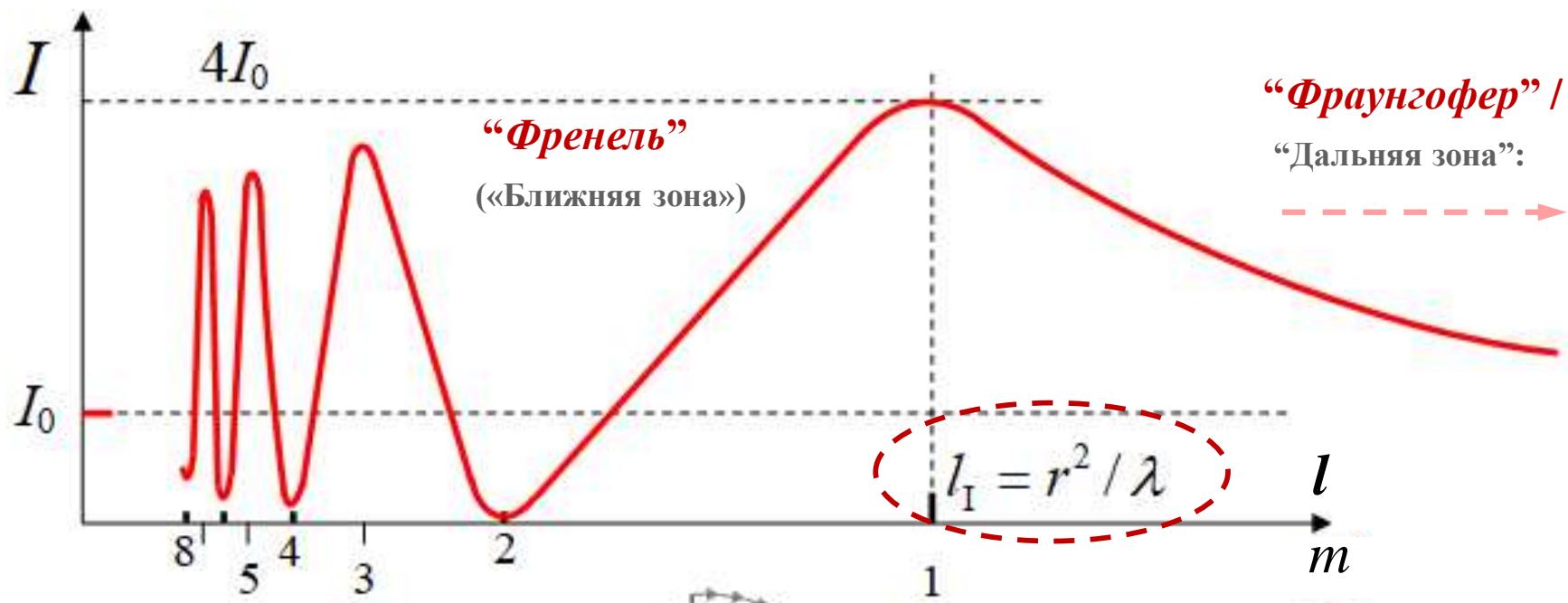
"параллельны": $\varphi \approx \varphi'$, если $b \ll x_1^{\min}$: $b \ll l \cdot \frac{\lambda}{b}$

$$\frac{b^2}{l\lambda} - ???$$

“Фраунгофер”:

$$\frac{b^2}{l\lambda} \ll 1 \quad \left(\frac{b^2}{l\lambda} < 1 \right)$$

Интенсивность в центре дифракционной картины



$$m = \frac{r^2}{l\lambda}$$

— число открытых зон Френеля

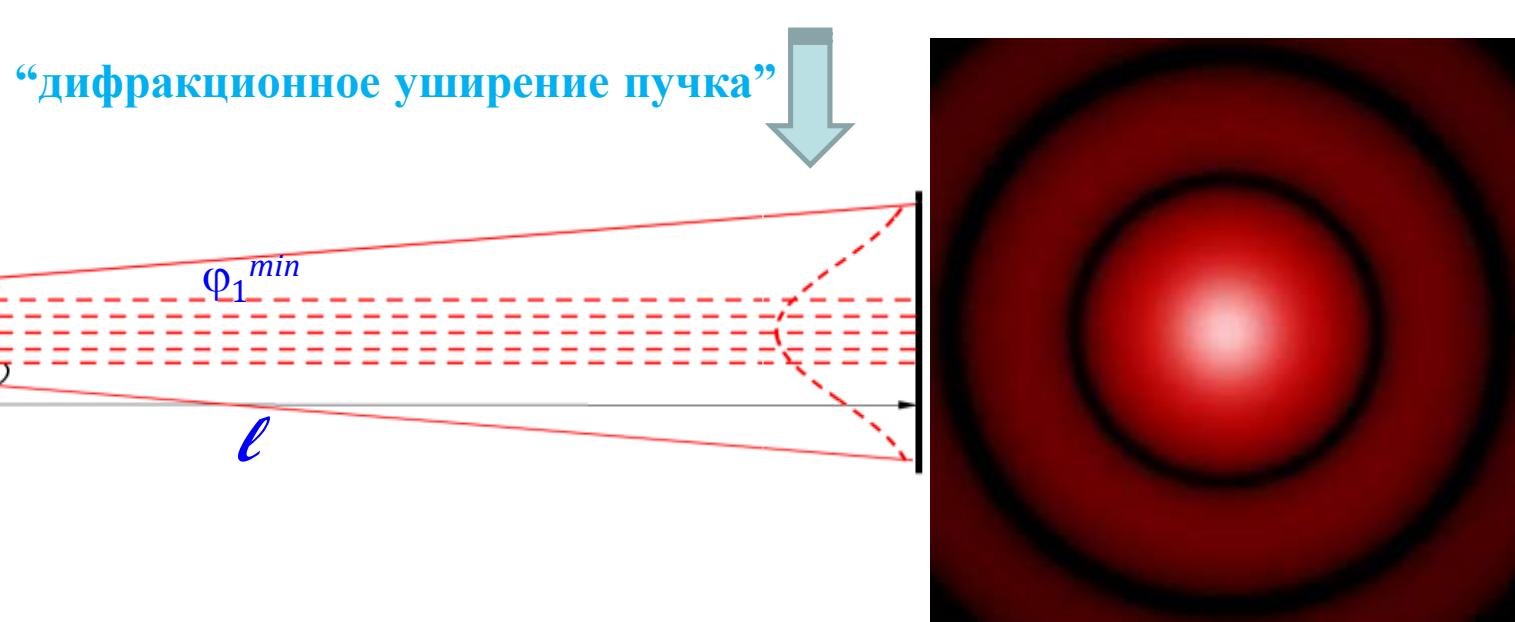
4.2. Роль дифракции в формировании изображения оптическими приборами

4.2.1. Дифракционное расхождение пучка

Размер отверстия $d \gg \lambda$ – Можно ли пренебречь дифракцией ??

“Лекционный эксперимент”: Моделирование *лазерной локации* поверхности Луны. Лазер с диаметром выходного отверстия $d \approx 4$ мм и длиной волны излучения $\lambda \approx 600$ нм. Расстояние $\ell \approx 30$ м.

$$d = 4 \text{ мм} \gg \lambda = 0,6 \text{ мкм}$$
$$10^{-3} \ggg 10^{-7} \text{ четыре порядка!}$$



4.2. Роль дифракции в формировании изображения оптическими приборами

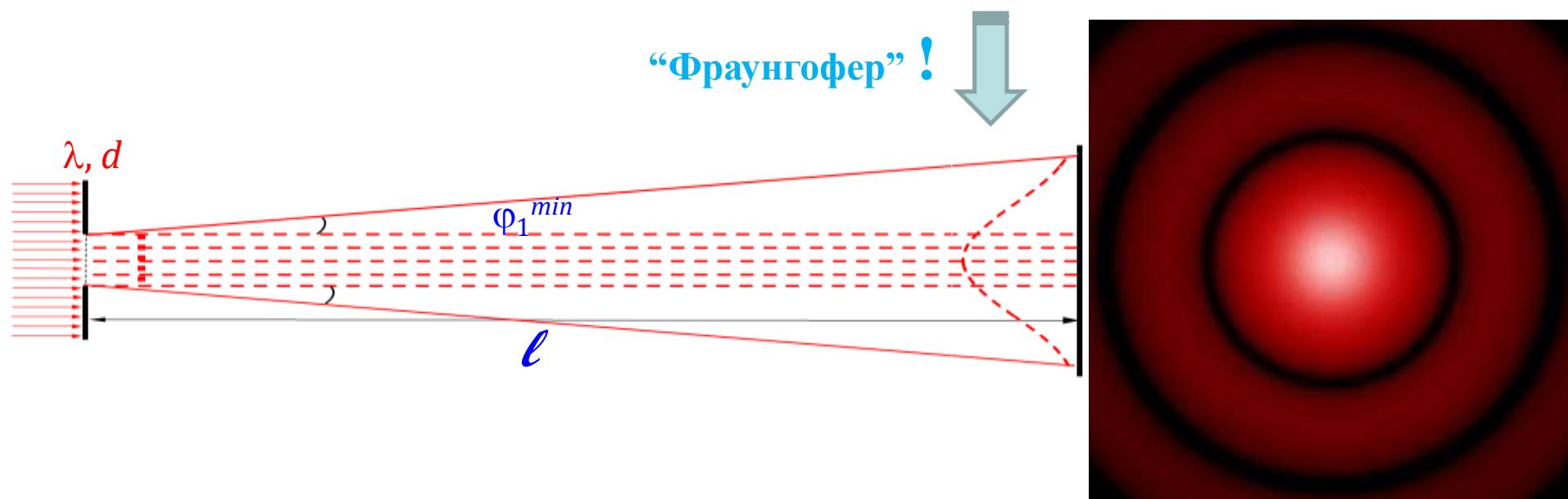
4.2.1. Дифракционное расхождение пучка

Размер отверстия $d \gg \lambda$ – Можно ли пренебречь дифракцией ??

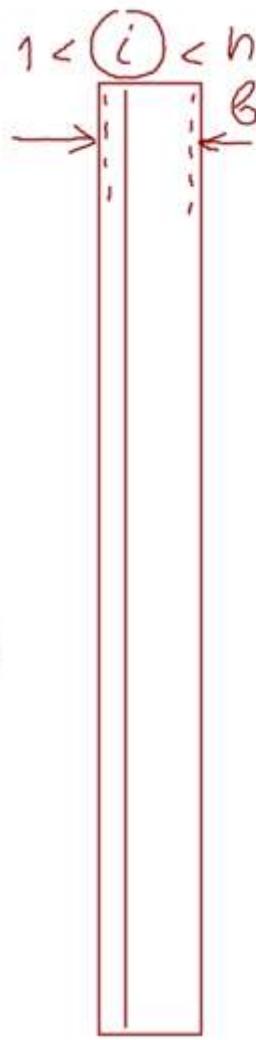
Факультативное Д.З.: Оцените диаметр « пятна » на поверхности Луны при её *лазерной локации*. Для локации используется рубиновый лазер с диаметром выходного отверстия $d = 5$ см и длиной волны излучения $\lambda = 694,3$ нм. (для оценки примите значение $\lambda \approx 700$ нм, а расстояние до Луны $\ell \approx 400$ 000 км).

$$\frac{d^2}{l\lambda} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2}{4 \cdot 10^8 \cdot 7 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2} \approx 10^{-5}$$

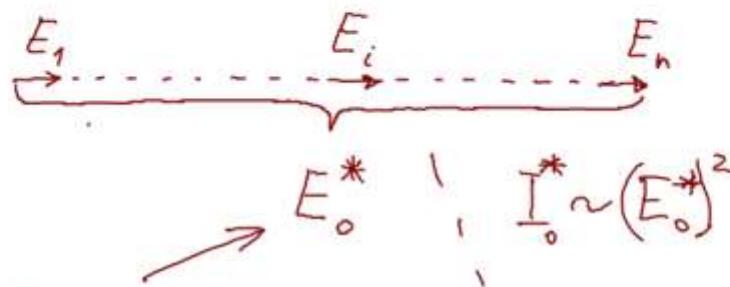
*5 см >> 0,7 мкм
10⁻² >>> 10⁻⁷ пять порядков!*



Доска



a), $\varphi = 0$, т. о"



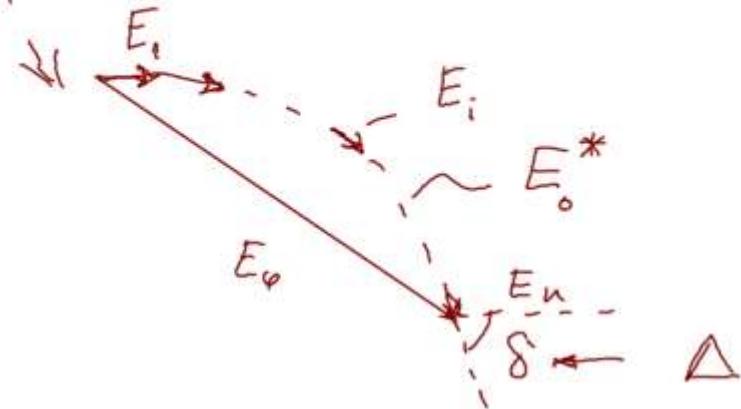
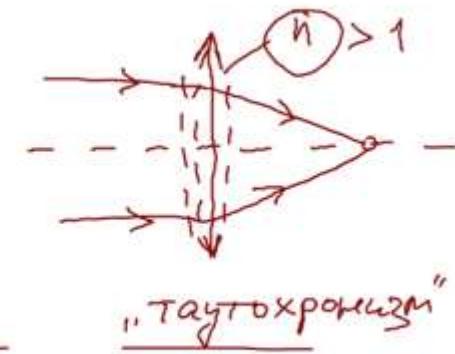
смн.

E в исчре г. картины

б). $0 < \varphi < \varphi_{\text{min}}$

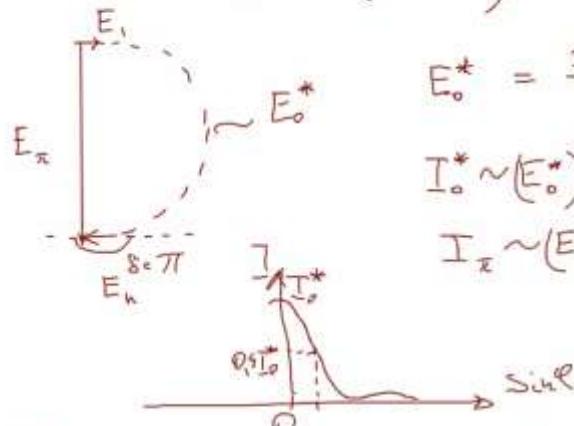
$$\Delta = b \cdot \sin \varphi$$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot b \sin \varphi$$



Доска

Пример: $S = \pi$ ($\rightarrow \varphi$)



$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta$$

$$(o.p.x.) \quad \Delta = b \cdot \sin \ell$$

$$2) \quad \begin{array}{c} E_1 \\ \rightarrow \\ E_n \end{array} ; \quad 1 - \bar{u} \text{ min} \\ ; \quad S_1 = 2\pi \\ ; \quad \Delta = 2$$

$$b \sin \varphi_1^{(n)} = \pm \lambda ;$$

$$\alpha) \quad \xrightarrow{\text{E}_0^*}$$

$$\left. \begin{array}{l} E_0^* = \frac{\pi \cdot E_\pi}{2} \\ I_0^* \sim (E_0^*)^2 \\ I_\pi \sim (E_\pi)^2 \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} I_0^* = \frac{\pi^2 \cdot I_\pi}{4} \\ I_\pi = \frac{4}{\pi^2} \cdot I_0^* \quad (\approx 0.4) \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \text{24}$$

$$2) \quad \delta = 3\pi \quad \left(\text{since } \varphi = \frac{3}{2}\pi \right)$$

$$E_0^* = \frac{3}{2} \pi E_1, \quad \frac{T_0^*}{T_1} = \frac{9\pi}{4} = 22.5$$

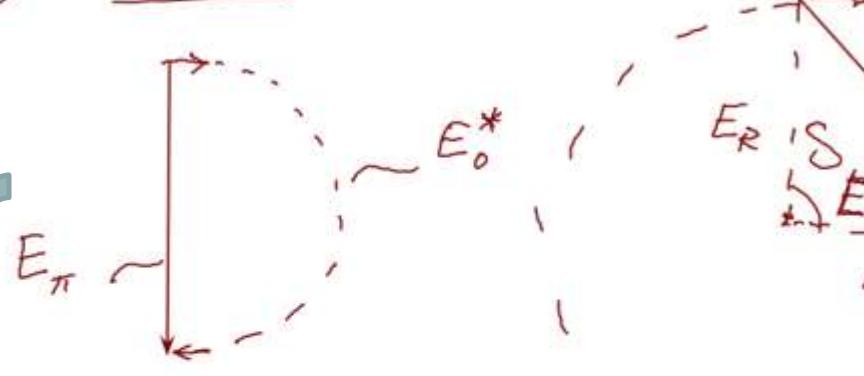
$$\text{min: } b_{\text{diff}} = \pm m.1, \quad m=1,2,3,\dots$$

$$\max: \psi = 0; \quad b \sin \psi = \pm \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

$m = 1, 2, 3, \dots$

Пример

$$l). \quad S = \pi \quad \Leftrightarrow \varphi_{\pi}$$

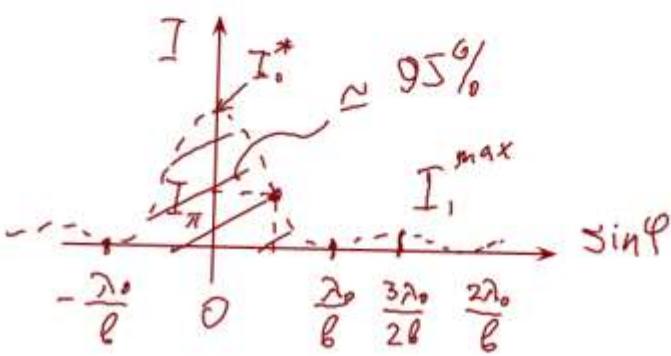


Доска

$$I(\varphi) = 4 \cdot \frac{I_0^*}{S^2} \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

$$I(\varphi) = I_0^* \cdot \frac{\sin^2 \frac{\delta}{2}}{(\delta/2)^2} = I_0^* \left(\frac{\sin \frac{\delta}{2}}{\delta/2} \right)^2$$

$$\underline{I(\varphi) = I_0^* \left(\frac{\sin \frac{\delta}{2}}{\frac{\delta}{2}} \right)^2}$$



$$E^2(\varphi) = 2E_R^2 - 2E_R^2 \cdot \cos \delta = 2E_R^2 (1 - \cos \delta)$$

$$\underline{2 \sin^2 \frac{\delta}{2}}$$

$$E_R^2 = E_o^* \cdot \delta \Rightarrow E_R = \frac{E_o^*}{\delta}$$

$$\underline{E^2(\varphi) = 4E_R^2 \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2}}$$

$$\sim \underline{I(\varphi)}$$

$$E_o^* = \frac{\pi \cdot E_\pi}{2}$$

$$I_0^* \sim (E_o^*)^2$$

$$I_\pi \sim (E_\pi)^2$$

$$I_0^* = \frac{\pi^2 \cdot I_\pi}{4}$$

$$I_\pi = \frac{4}{\pi^2} \cdot I_0^* \quad (\simeq 0,4 I_0^*)$$

40%