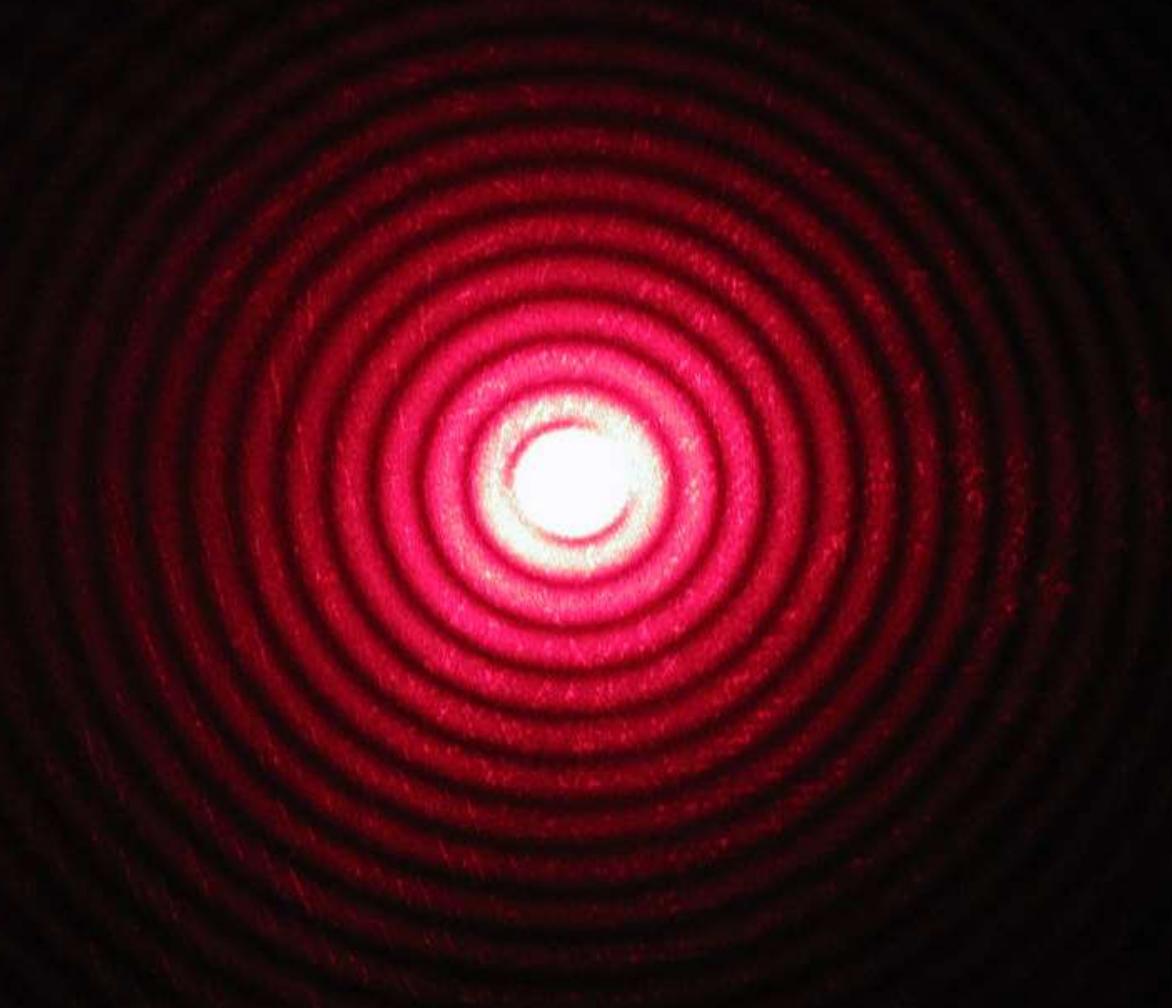


Лекция 11. Дифракция Френеля



Задача дифракции:

?

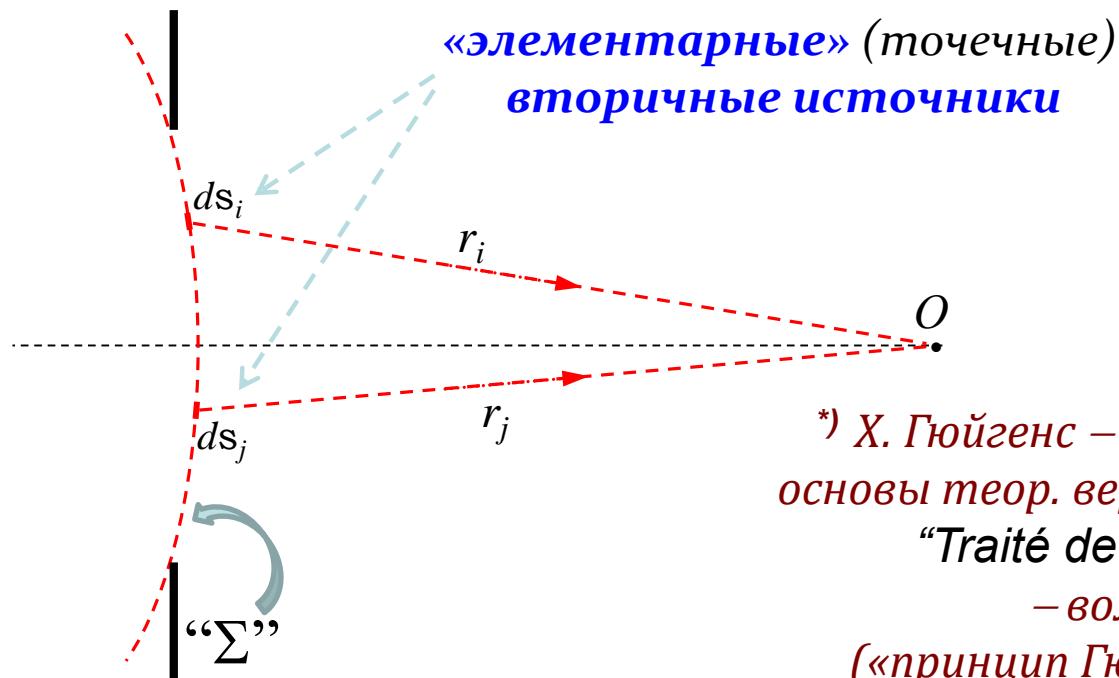
$I(x)$ или $I(\phi)$, т.е. I (от направления)

x – координата точки экрана; ϕ – «угол дифракции»

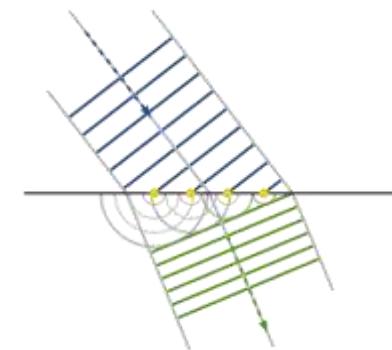
Принцип Гюйгенса *) – Френеля (1678 – 1815 !)

♣1. Каждый малый элемент волнового фронта, не закрытый препятствием, может рассматриваться как самостоятельный источник так называемых «вторичных волн», распространяющихся за препятствием.

♣2. Интенсивность света в любой точке пространства за препятствием можно найти, вычислив результат интерференции вторичных волн в этой точке.



*) «принцип Гюйгенса»



*) Х. Гюйгенс – теор. мех., маятниковые часы;
основы теор. вероятностей; кольца Сатурна; ... ;

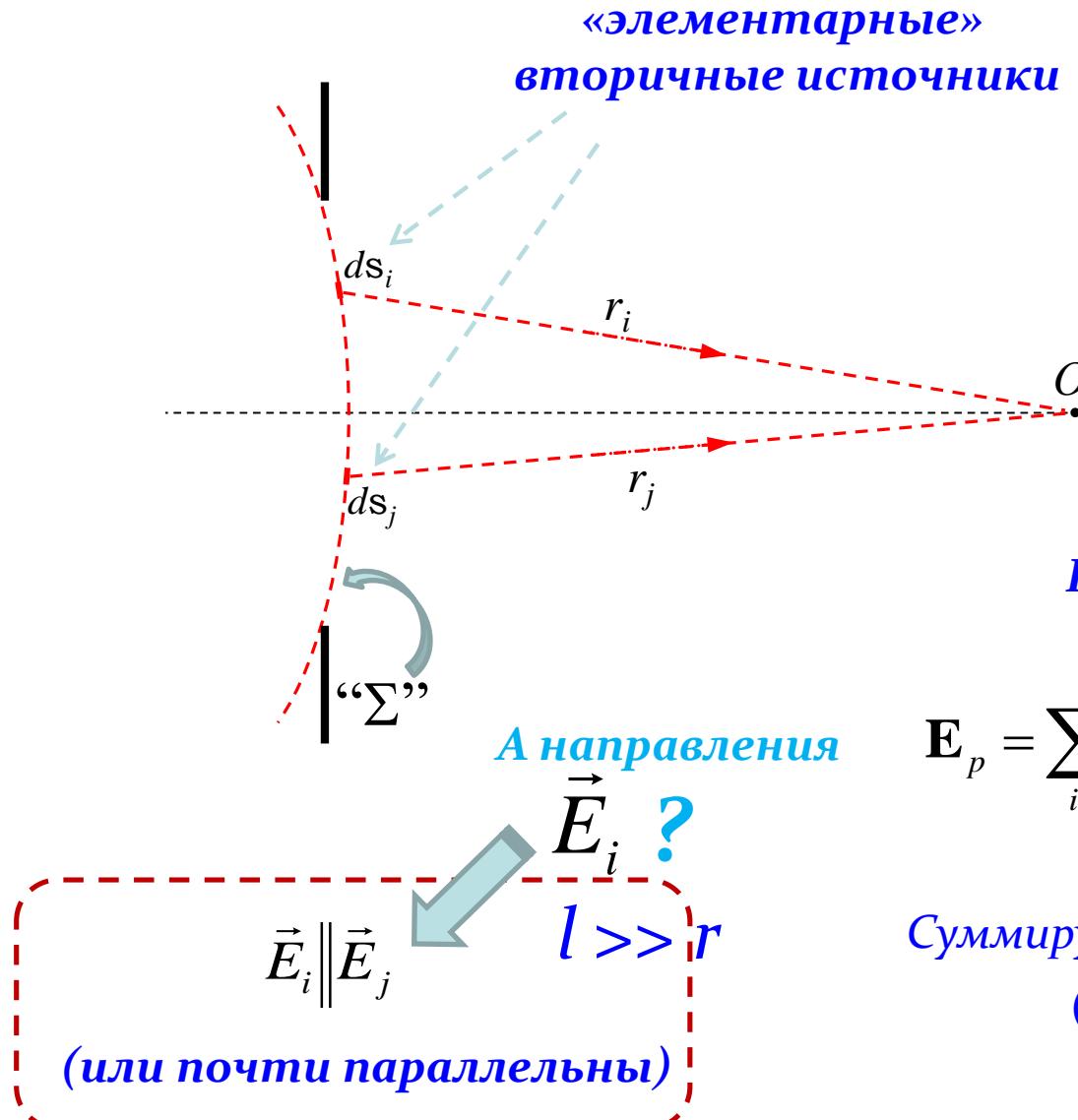
“Traité de la lumière” (1678–1690) –

– волновая теория света

(«принцип Гюйгенса», поляризация света,
двулучепреломление, ...)

*)

Принцип Гюйгенса – Френеля



Задача дифракции:

$$I(x)$$

или

$$I(\phi),$$

т.е. I (от направления)

?

ϕ – «угол дифракции»

Как суммировать ???

1)

$$\mathbf{E}_p = \sum_i \mathbf{E}_i = \sum_i E_{0i} \cdot \cos(\omega t - k \cdot r_i)$$

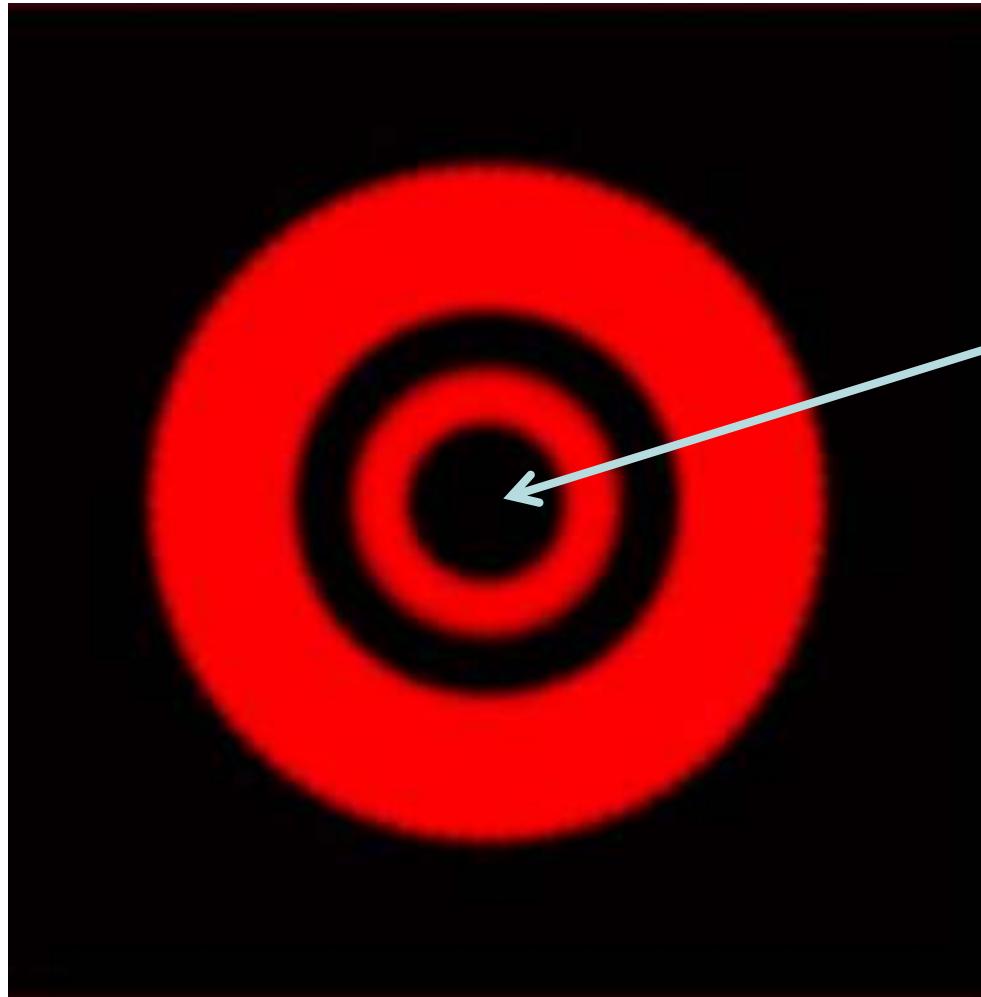
2)

Суммируем векторы-колебания \mathbf{E}_i
(«стрелки» не ставим!)

⇒ Метод векторных диаграмм !!!

§ 2. Диракция Френеля на круглом отверстии или диске

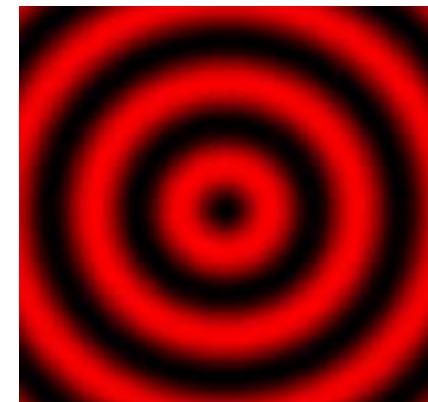
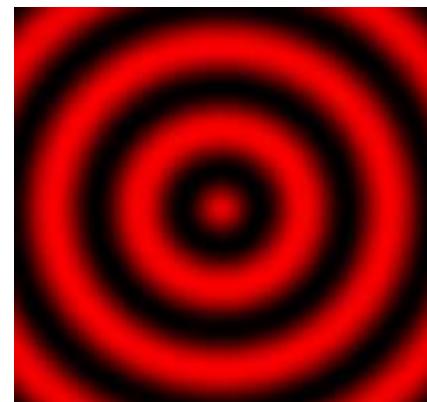
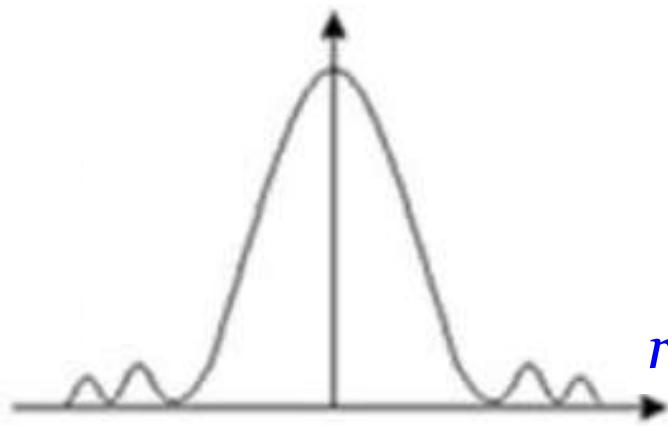
Интерференционная ≡ Дифракционная картина



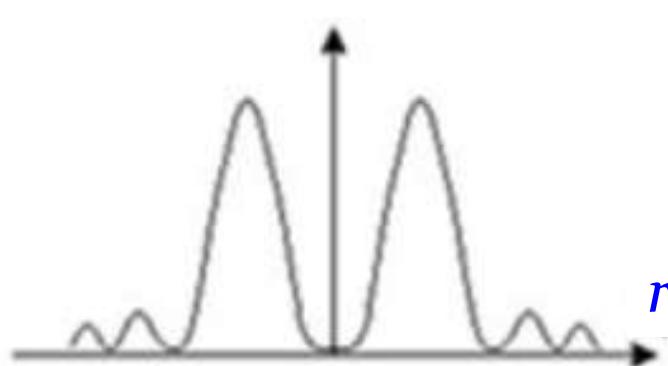
??
Так бывает
при
Дифракции Френеля !

Дифракция на круглом отверстии – что видим?

I



I

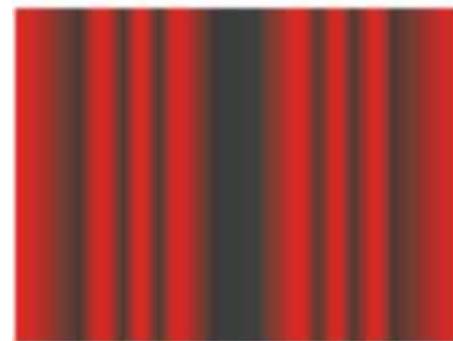


*В центре
максимум*

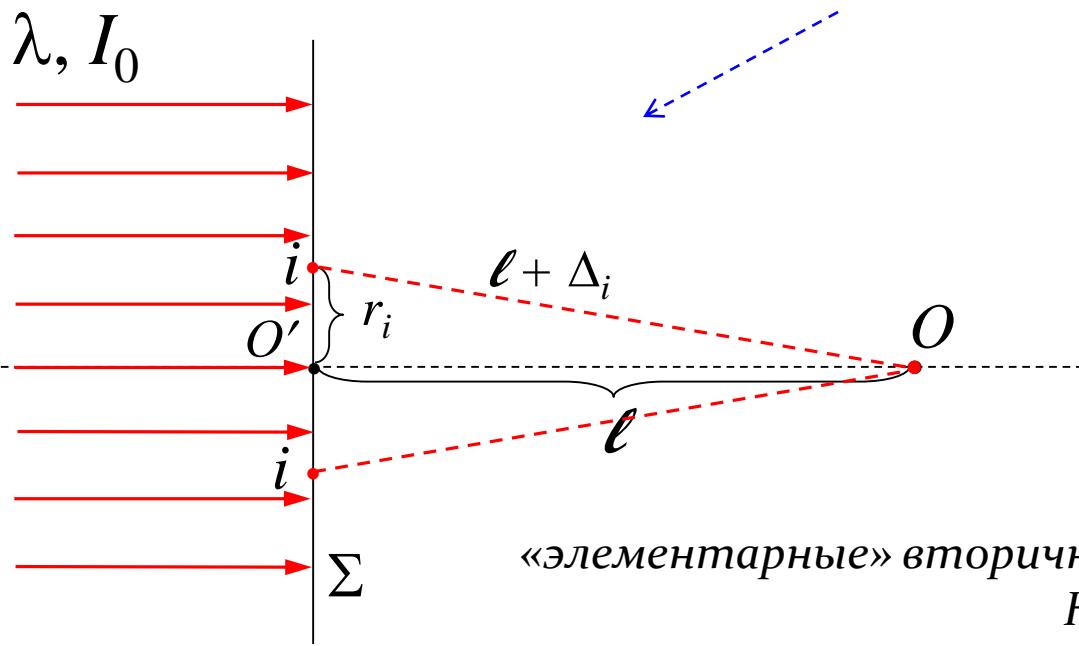
??

*В центре
минимум*

... и на щели так бывает:

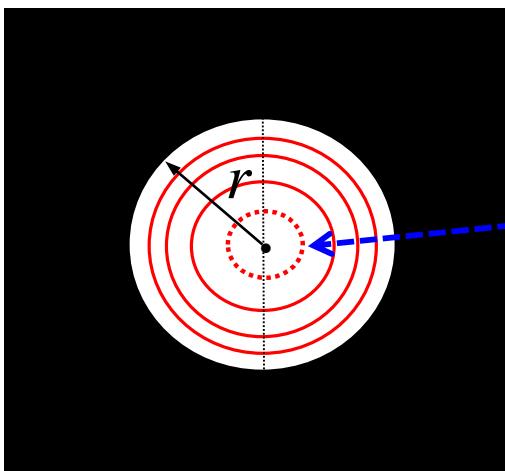


2.1. Спираль Френеля



«элементарные» вторичные источники – точечные. HO

«Вторичные источники» (и зоны Френеля) (имеют форму!)

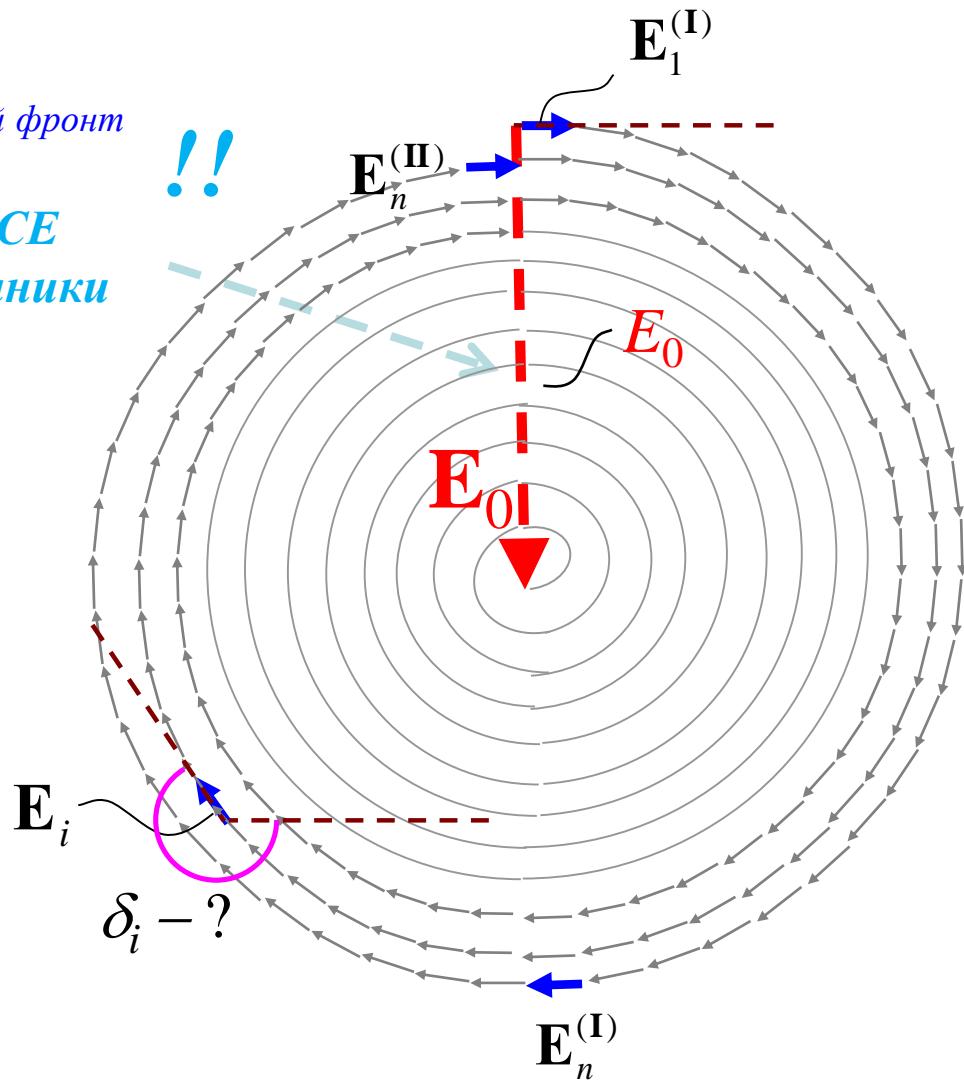


*“i” – и́й вторичный источник и
несколько первых зон Френеля
внутри отверстия*

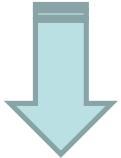
Спираль Френеля – векторы-колебания для центра дифракционной картины

$r \rightarrow \Delta \rightarrow \delta \rightarrow$
→ "точка на спирали"

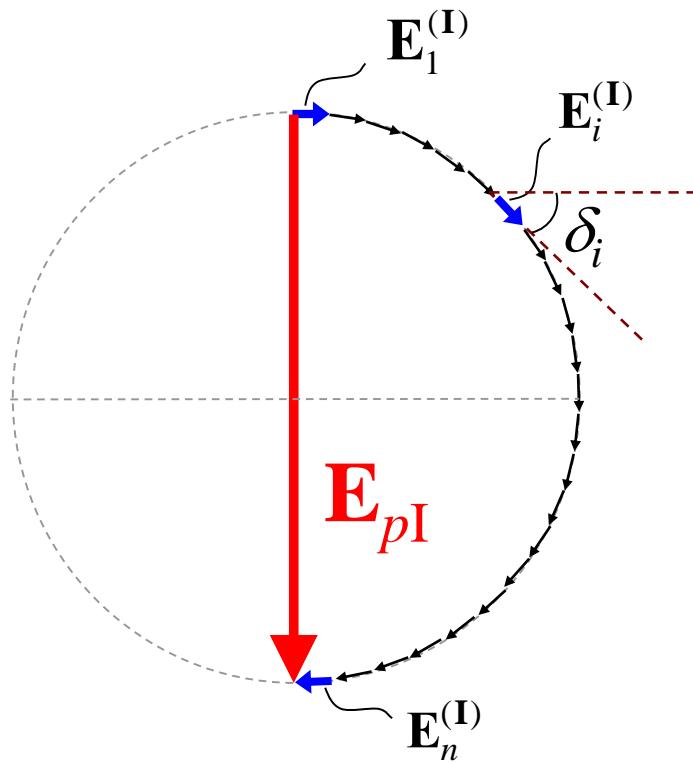
Открыт весь волновой фронт
→
"Работают" ВСЕ
вторичные источники



Примеры:



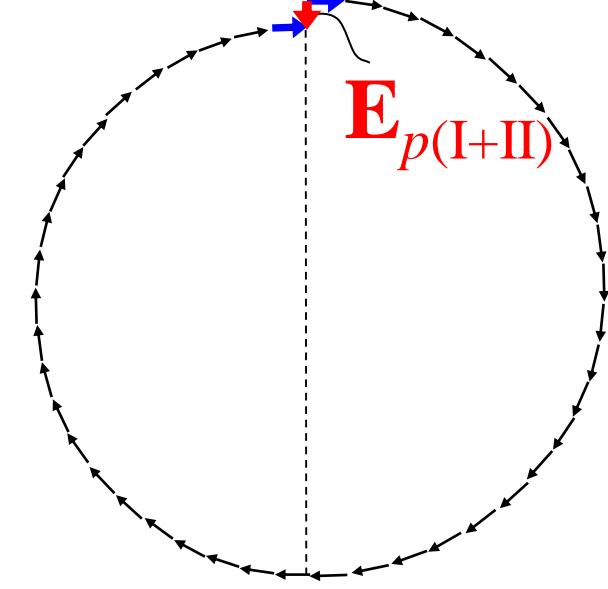
2.2. Основные результаты



a) открыта одна зона Френеля

$$I = 4I_0 \\ max$$

(нечётное число – *max*)



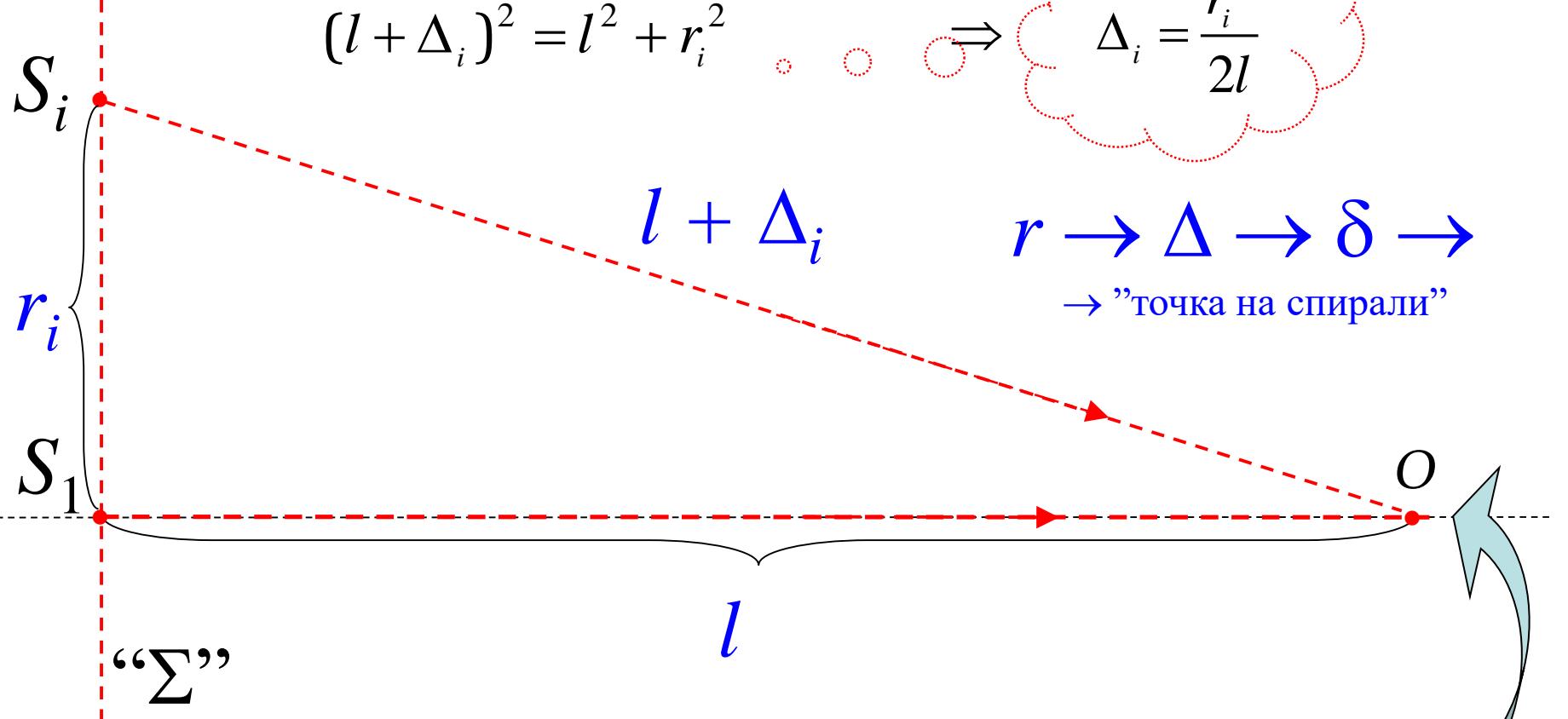
б) Открыто две зоны Френеля

$$I = 0 \\ min$$

(чётное число – *min*)

Расчёт фазового запаздывания δ_i :

(для любого вторичного источника номером “ i “)



Колебание: $E_{0i} \cdot \cos(\omega t - \delta_i)$

Запаздывает по фазе (!) $- \delta_i$

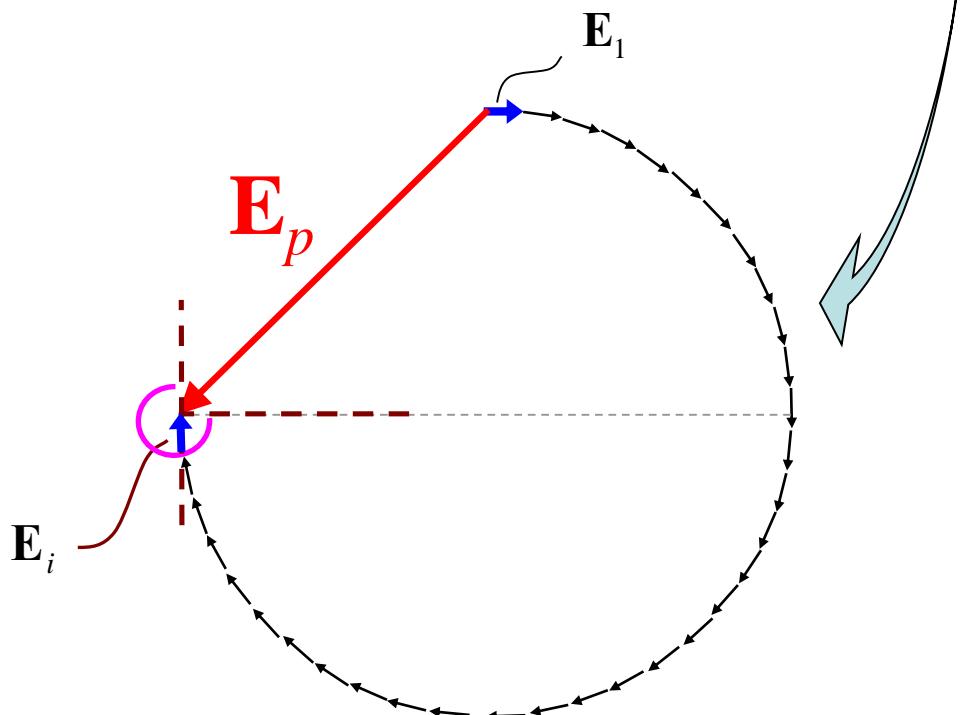
$$\delta_i = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta_i$$

Пример

На препятствие с круглым отверстием радиуса $r = 1 \text{ мм}$ падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 670 \text{ нм}$ (красный свет) и с интенсивностью I_0 . Какова интенсивность света напротив отверстия в центре на расстоянии $l = 1 \text{ м}$ за препятствием?

$$\delta_i = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{r^2}{2l} = \frac{r^2}{l\lambda} \cdot \pi = \frac{10}{6,7} \cdot \pi \cong \frac{3}{2}\pi$$

Векторная диаграмма для центра дифракционной картины на расстоянии l



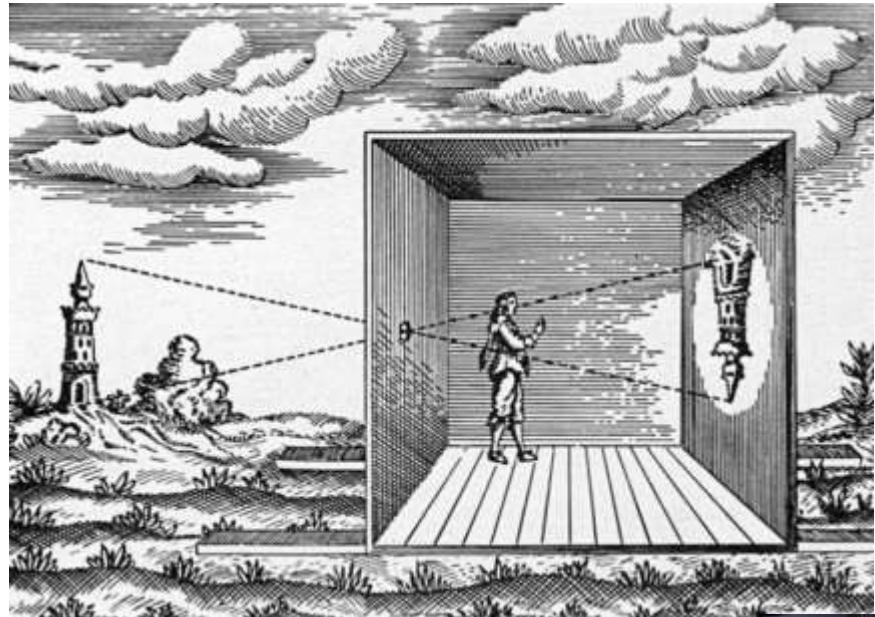
i – номер «последнего» вторичного источника внутри отверстия

А где «фокус»?

$$l_I = \frac{r^2}{\lambda}$$

«Камера-обскура»

«Камера-обскура»



Эдинбург



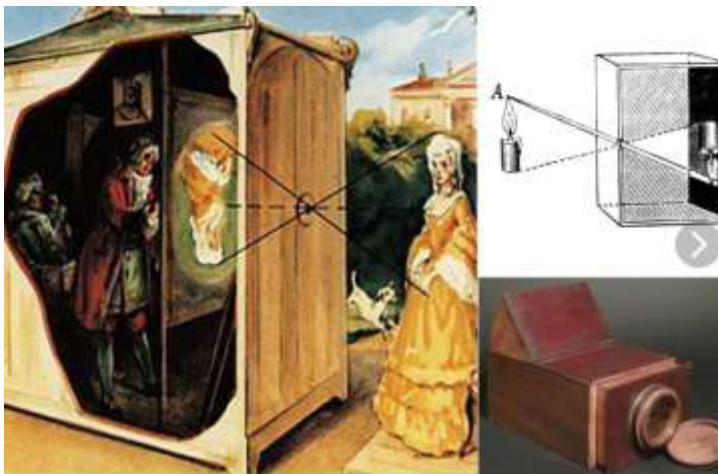
«Камера-обскура»

$$r_I = \sqrt{l\lambda}$$



$$l_I = \frac{r^2}{\lambda}$$

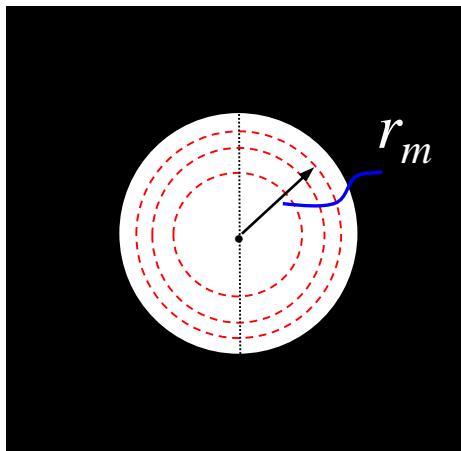
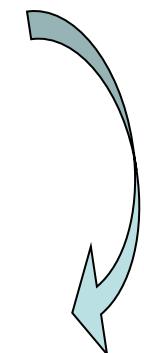
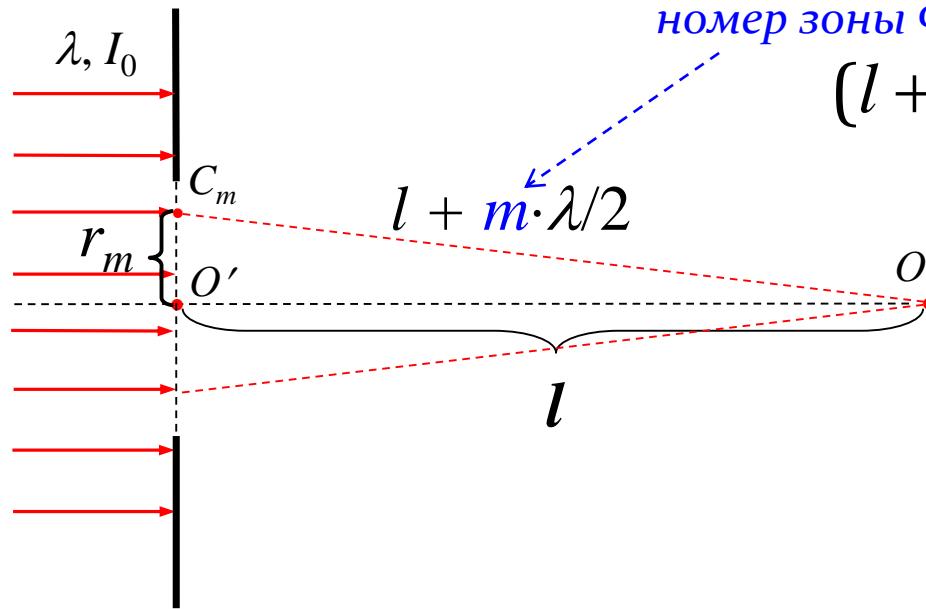
$$''F'' = \frac{r^2}{\lambda}$$



Фото, выполненное при помощи камеры



2.3. Размеры зон Френеля. Зонные пластиинки

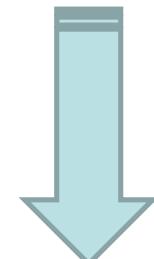


площади зон Френеля

$$S_m = \pi l \lambda$$

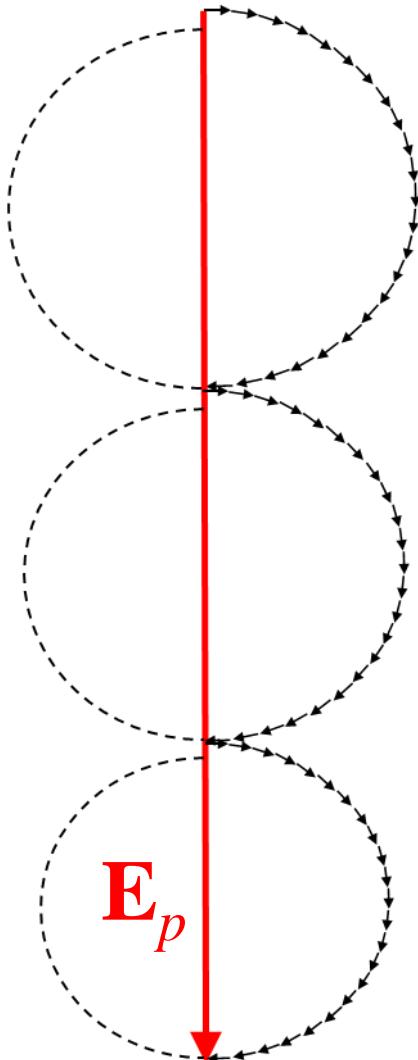
Радиусы зон Френеля

Зонные пластиинки



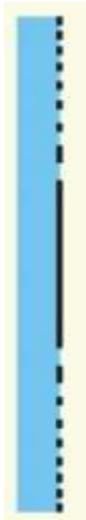
Несколько первых зон Френеля внутри отверстия

Зонные пластинки – амплитудные (A) и фазовые (Φ)



$$I^{(A)} = 4N^2 \cdot I_0$$

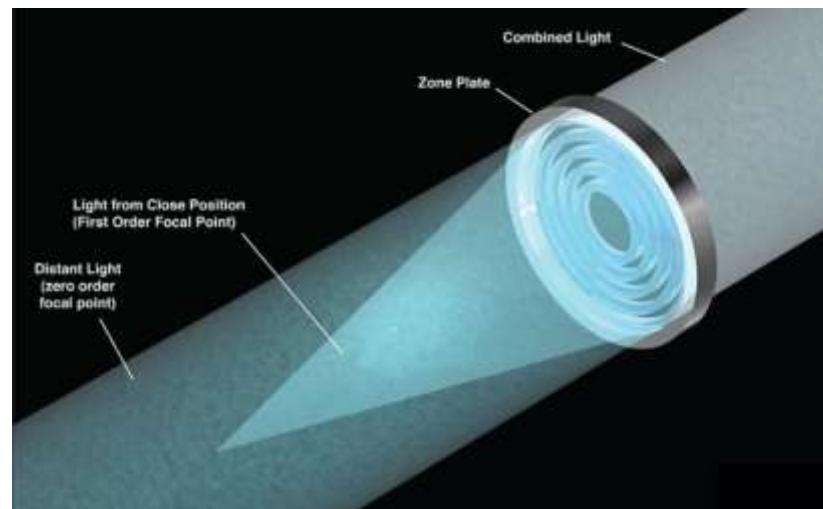
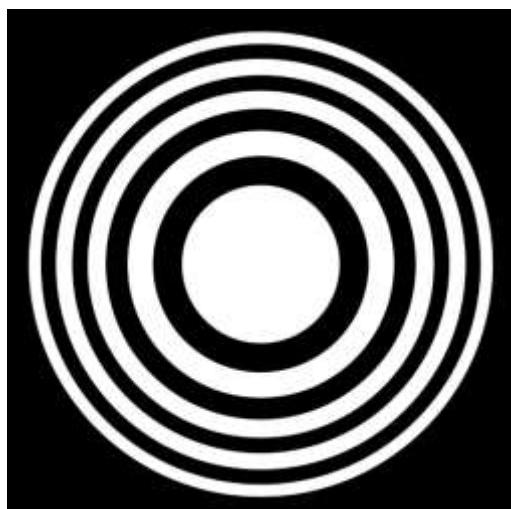
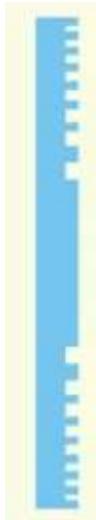
(амплитудная –
«линза Вуда»)



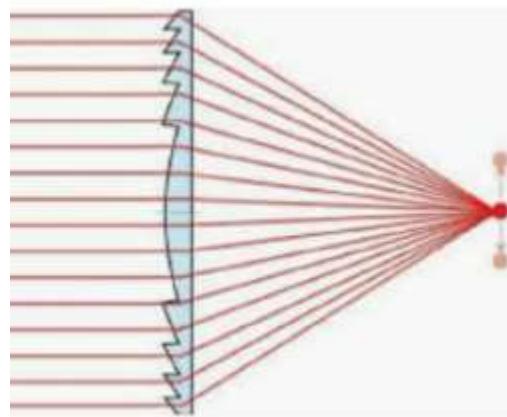
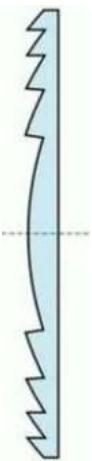
$$r_m = \sqrt{m \cdot F \cdot \lambda}$$

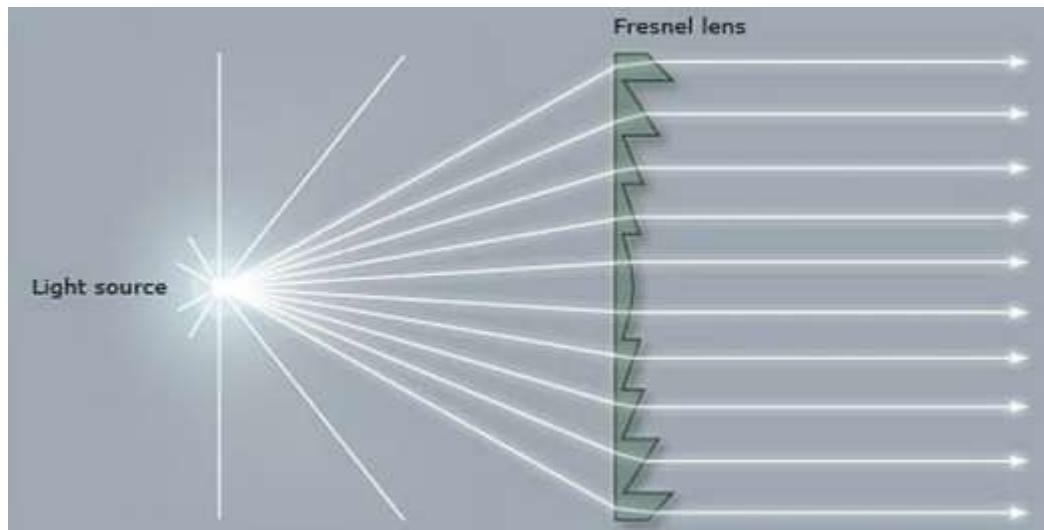
$$I^{(\Phi)} = 4 \cdot I^{(A)}$$

(фазовая –
«линза Френеля»)



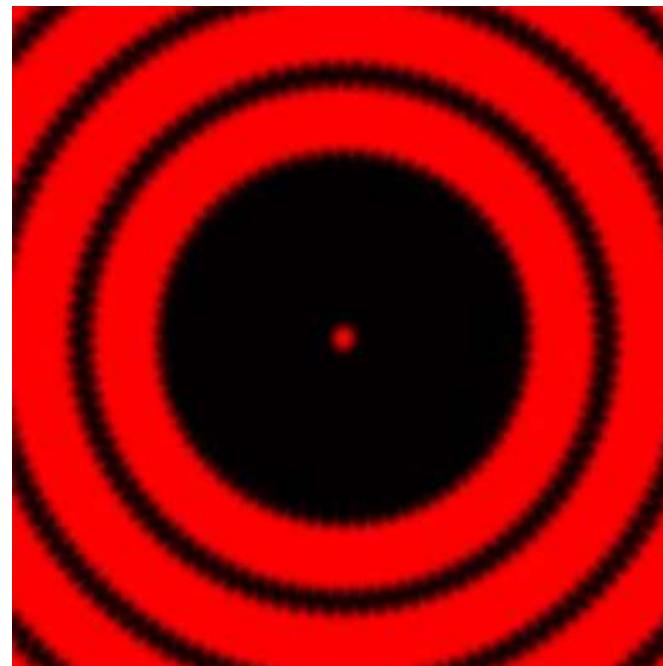
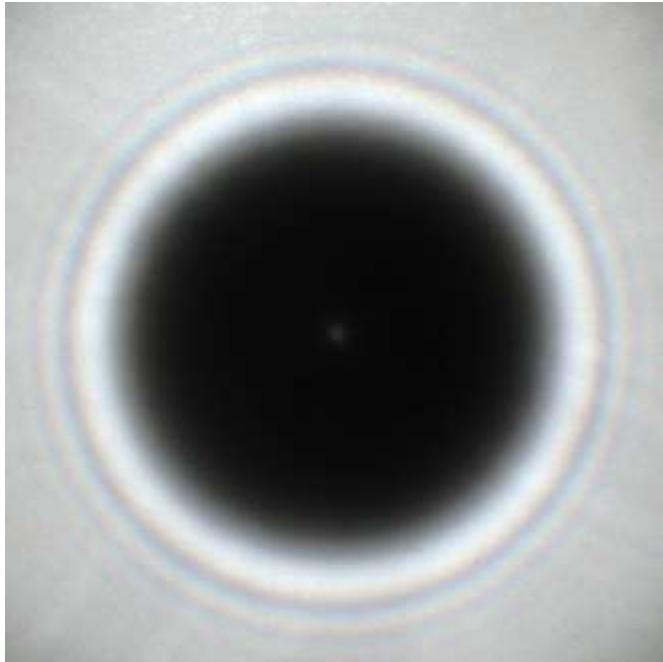
Линзы Френеля



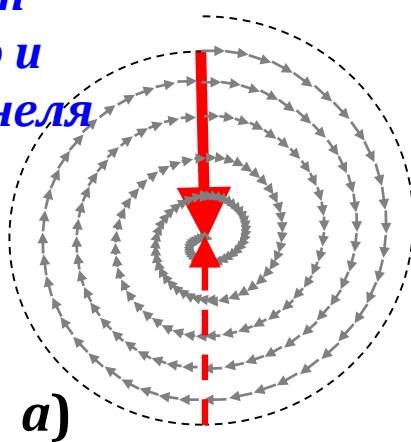




2.4. Дифракция на диске. Пятно Пуассона – Араго (1818 г.)

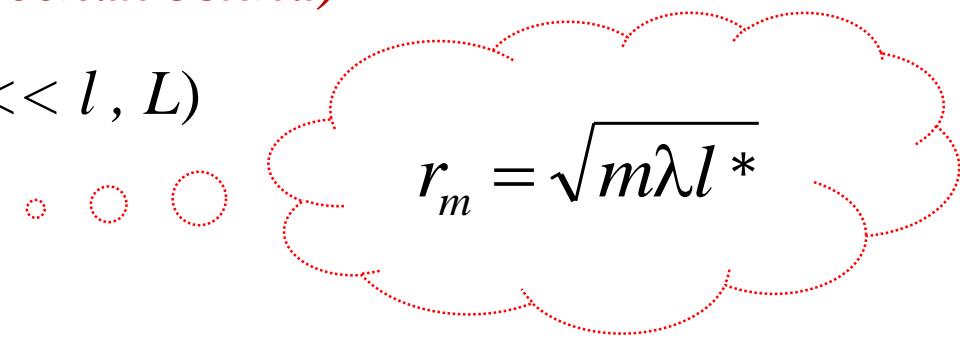
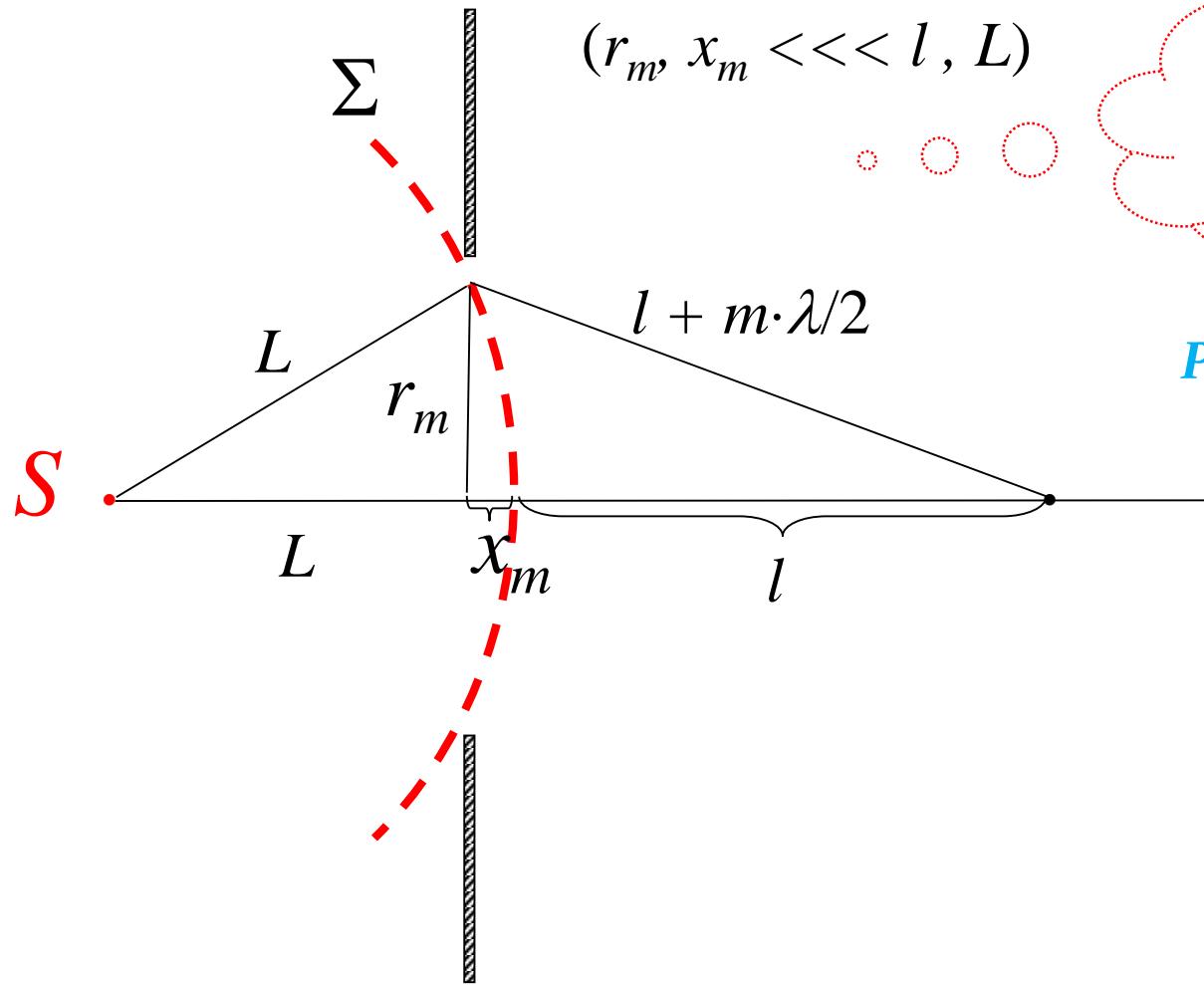


*Диск закрывает
пер первую / первую и
вторую зоны Френеля*



2.5. Замечания к § 2

1) Точечный источник (сферическая волна)



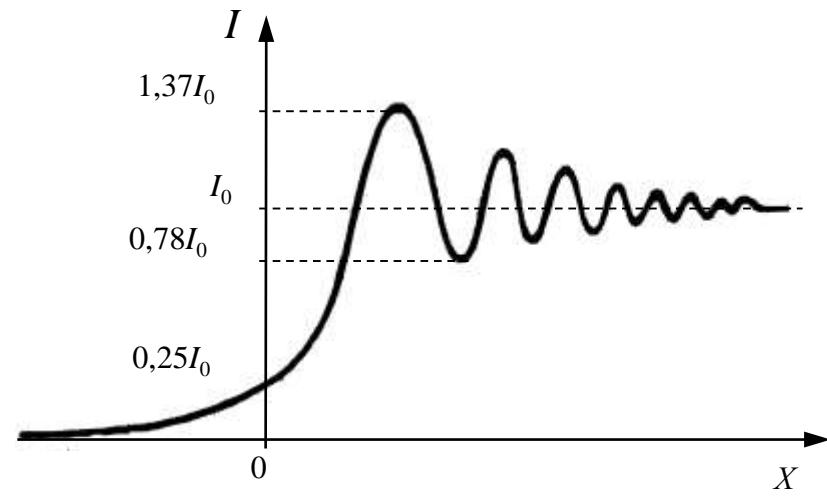
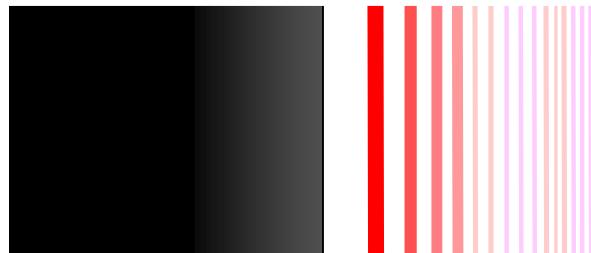
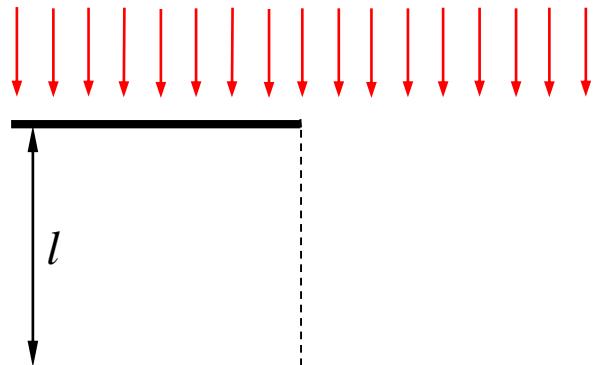
Радиусы зон Френеля

$$l^* = \frac{Ll}{L+l}$$

2) Форма препятствия

??

**) Дифракция Френеля на полуплоскости и на щели !!



“Зоны Шустера” и “Сpirаль Корню” **) см. old book стр. 97 - 104

Дифракционная картина Френеля при дифракции на щели:

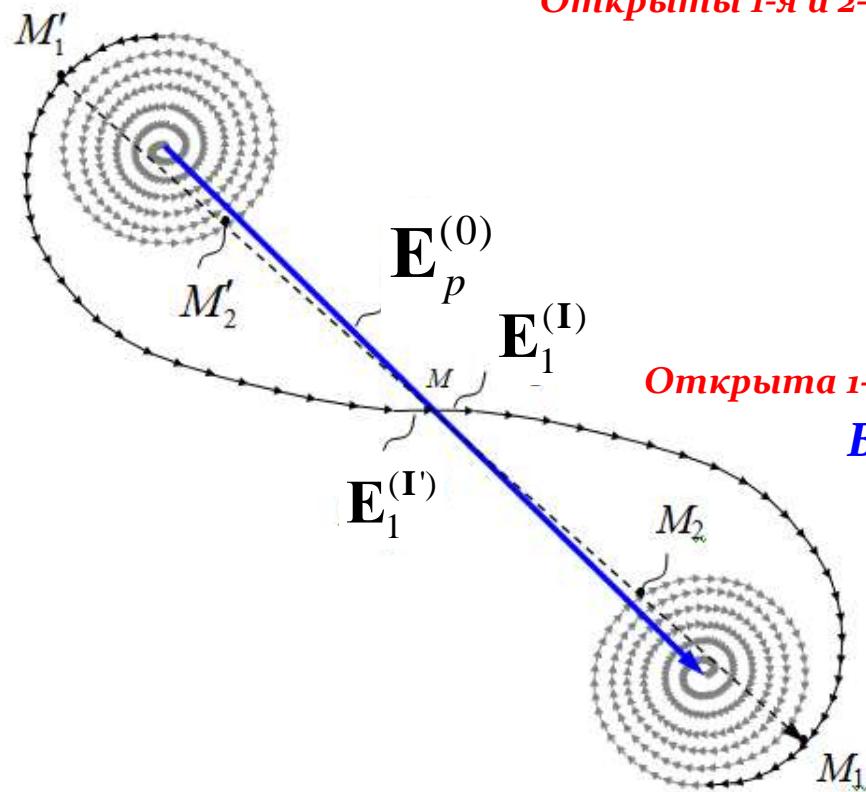
горизонтальная щель

***) Анализ:*

“Сpirаль Корню”

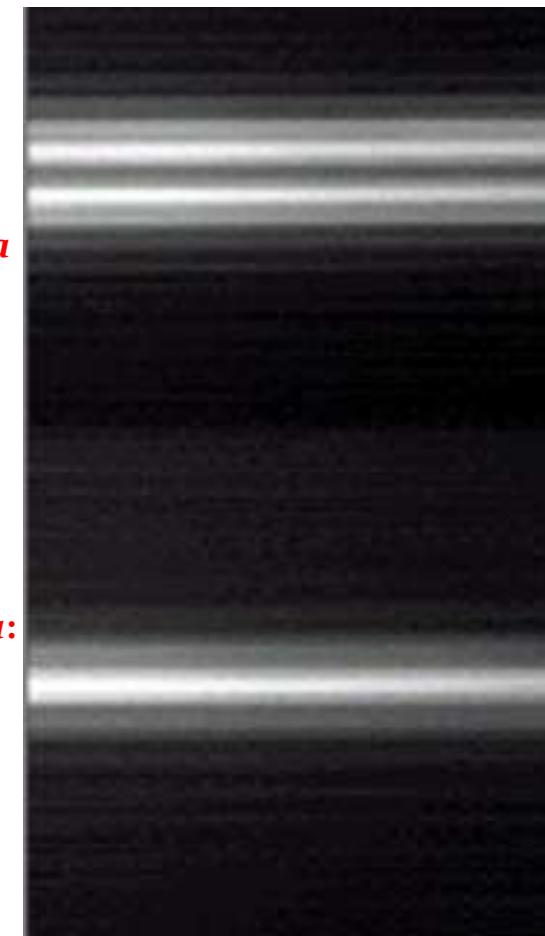
В центре минимум !

Открыты 1-я и 2-я зоны Френеля-Шустера

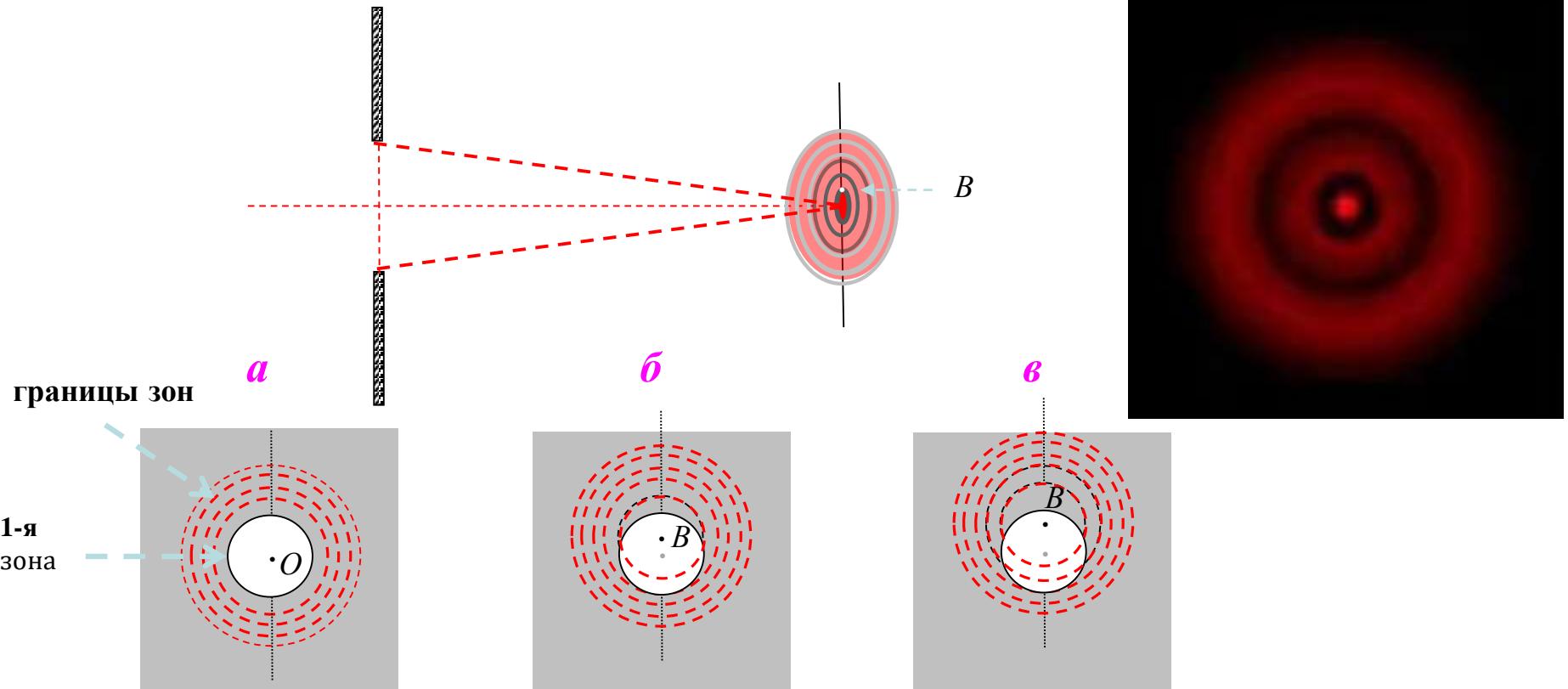


Открыта 1-я зона Френеля-Шустера:

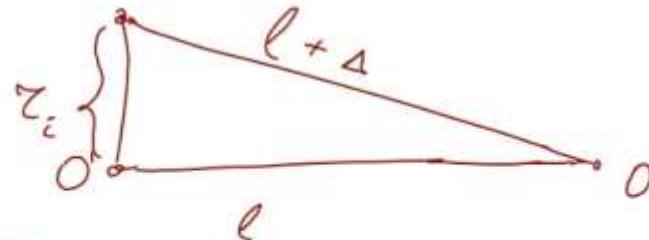
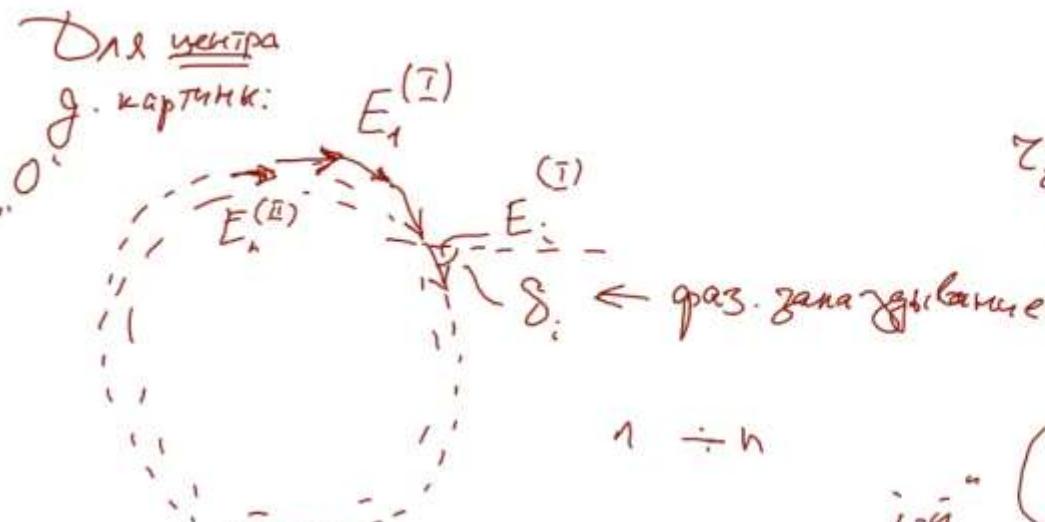
В центре максимум



3) **) *Распределение интенсивности света по экрану – формирование дифракционной картины Френеля*



Доска



$$1 \div n$$

" $i - \alpha$ "

$$(l + \Delta)^2 = l^2 + z_i^2$$

$$l^2 + 2l\Delta_i + \Delta_i^2 = l^2 + z_i^2$$

$$\Delta_i \gg \Delta, z$$

Пример: $\Sigma = 1 \text{ мкм}$;

$\ell = 1 \text{ м}$;

(красный) $\lambda_0 = 670 \text{ нм}$

$$\Delta_i = \frac{z_i^2}{2\ell}$$

$S_i = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot \Delta_i$

$$\Delta = \frac{\Sigma^2}{2\ell} = \dots \rightarrow \delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot \frac{\Sigma^2}{2\ell} \approx \frac{3}{2}\pi$$