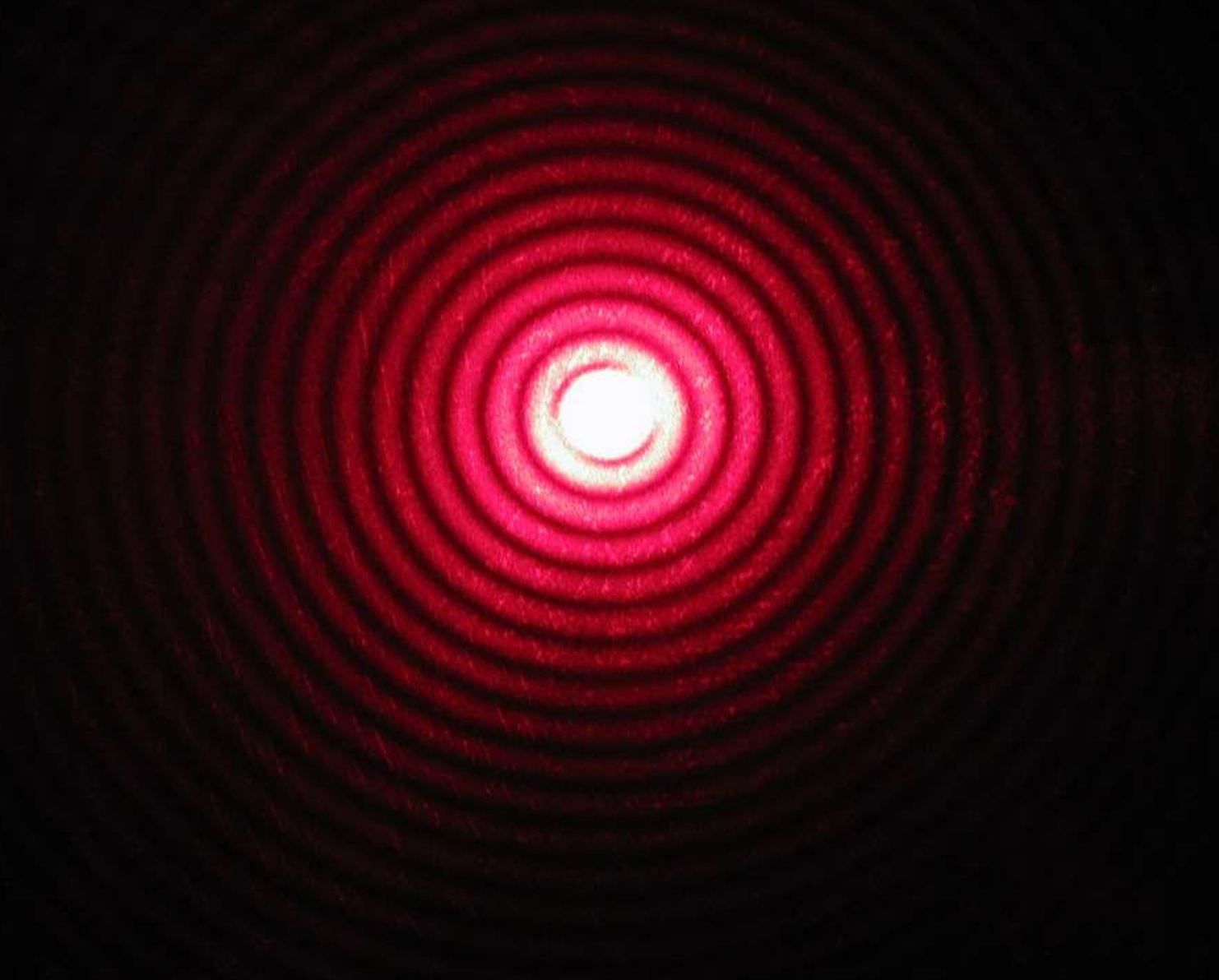


Лекция 11. Дифракция Френеля



Задача дифракции:



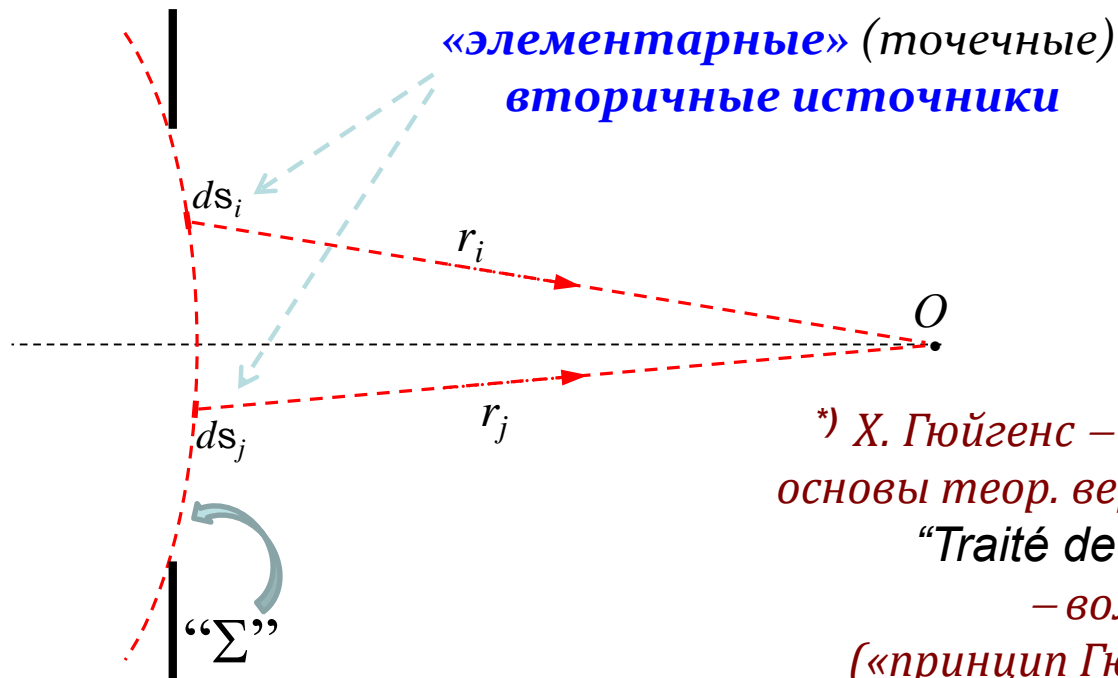
$I(x)$ или $I(\varphi)$, т.е. I (от направления)

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

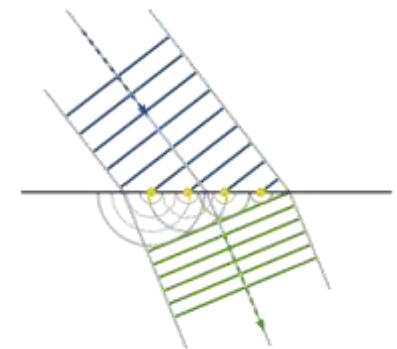
Принцип Гюйгенса *) – Френеля (1678 – 1815 !)

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

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



*) «принцип Гюйгенса»

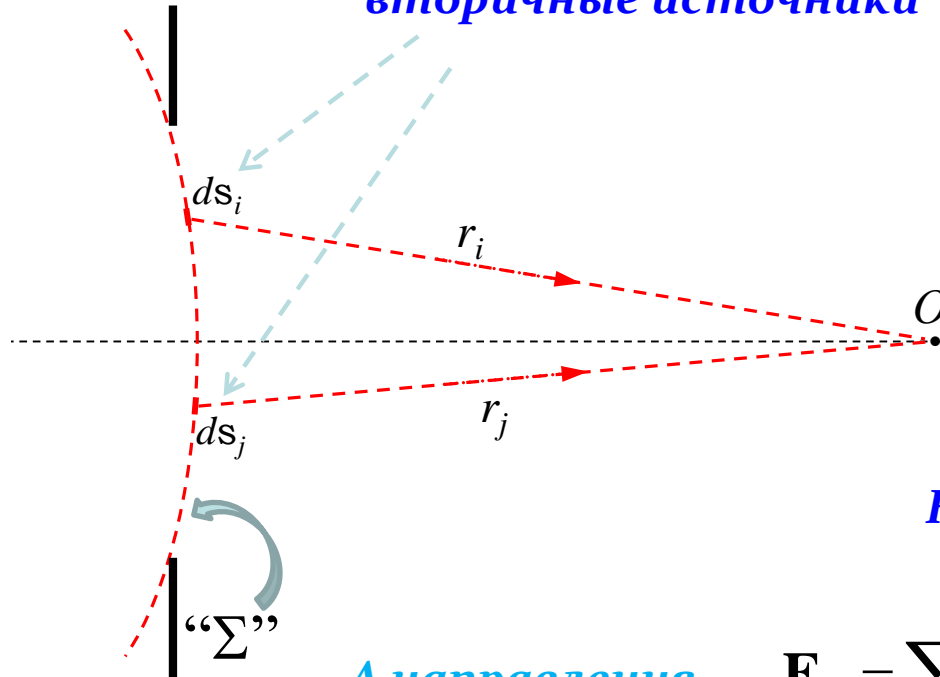


*) Х. Гюйгенс – теор. мех., маятниковые часы; основы теор. вероятностей; кольца Сатурна; ... ;
“*Traité de la lumière*” (1678–1690) –
– волновая теория света
(«принцип Гюйгенса», поляризация света, двулучепреломление, ...)

*)

Принцип Гюйгенса – Френеля

«элементарные»
вторичные источники



Задача дифракции:
 $I(x)$
или
 $I(\varphi)$,
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!)

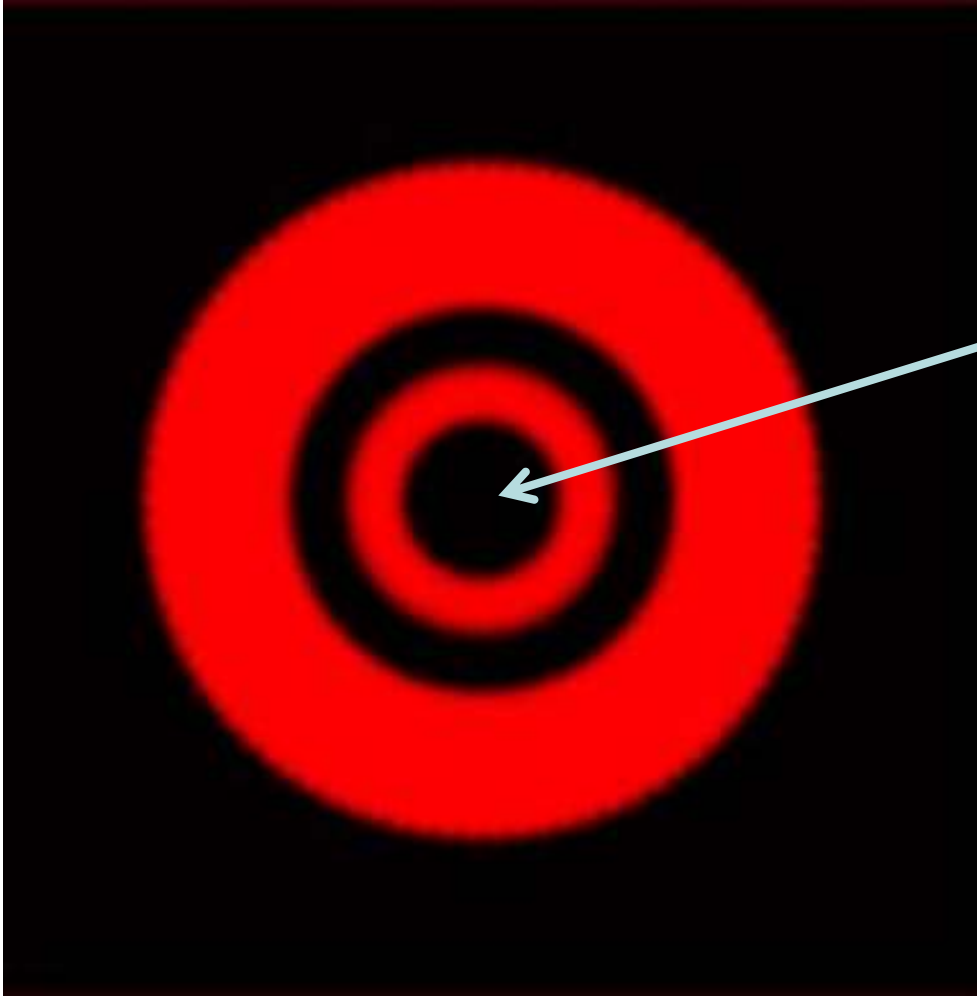
$$\vec{E}_i \parallel \vec{E}_j$$

(или почти параллельны)

⇒ Метод векторных диаграмм !!!

§ 2. Дифракция Френеля на круглом отверстии или диске

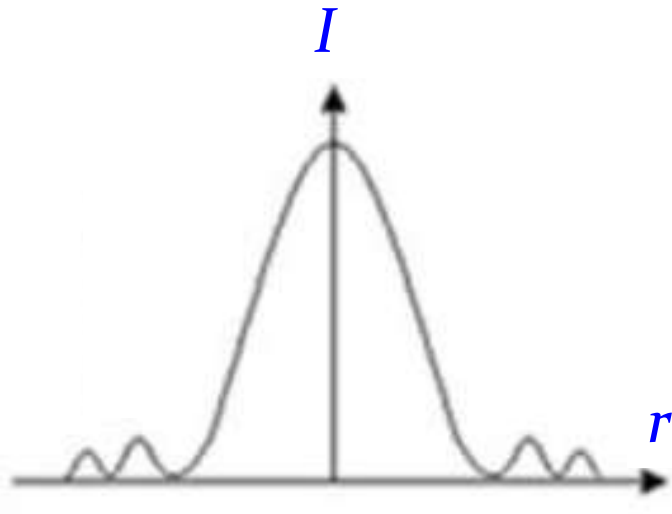
Интерференционная \equiv Дифракционная картина



???

Так бывает
при
Дифракции Френеля !

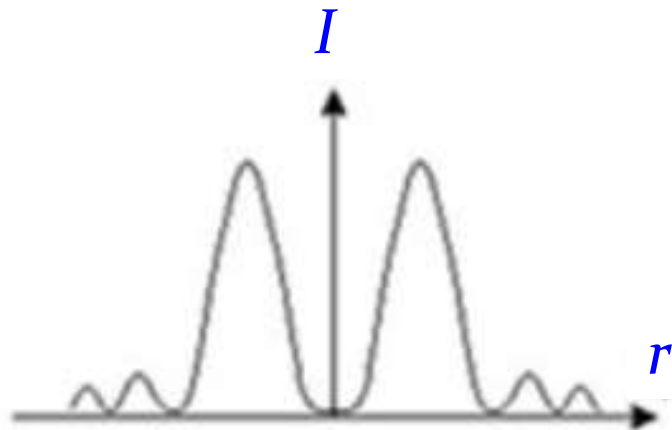
Дифракция на круглом отверстии – что видим ?



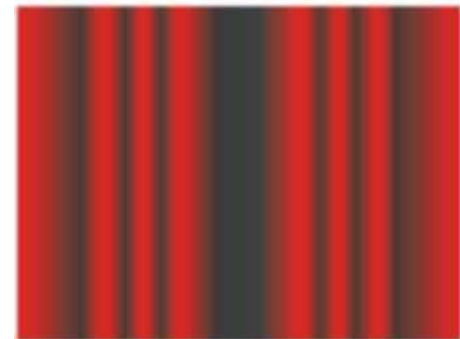
В центре
максимум

??

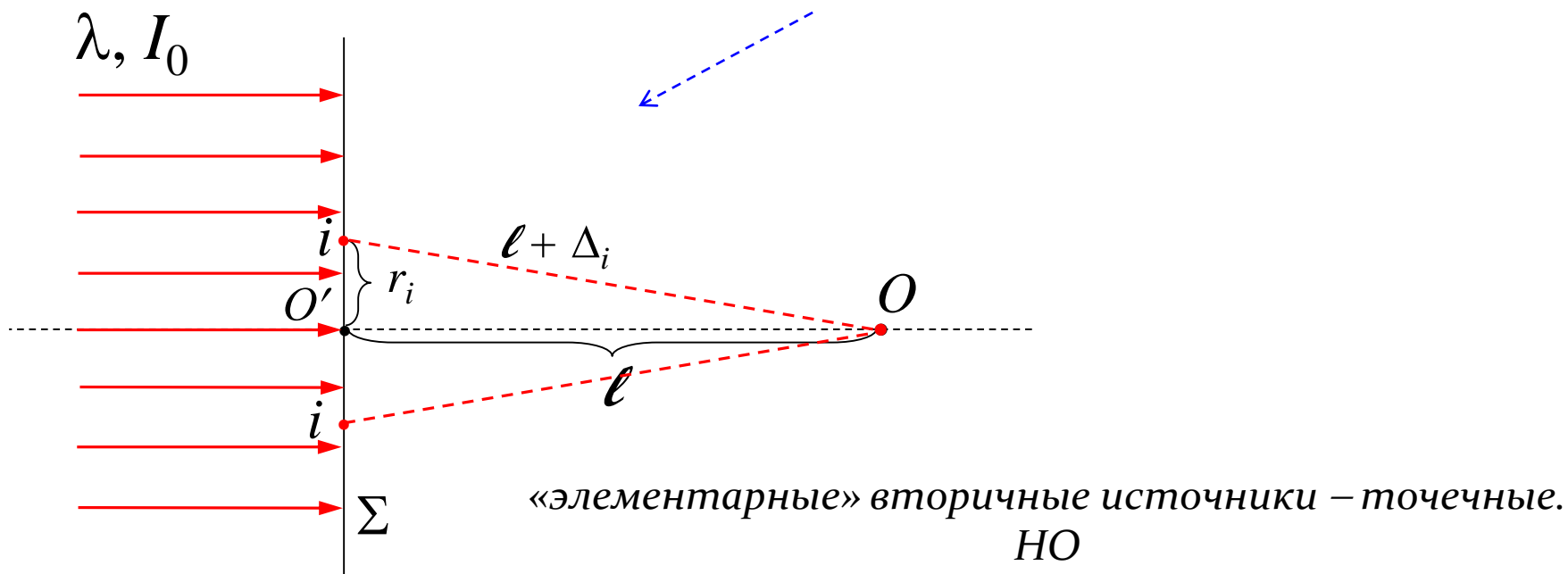
В центре
минимум



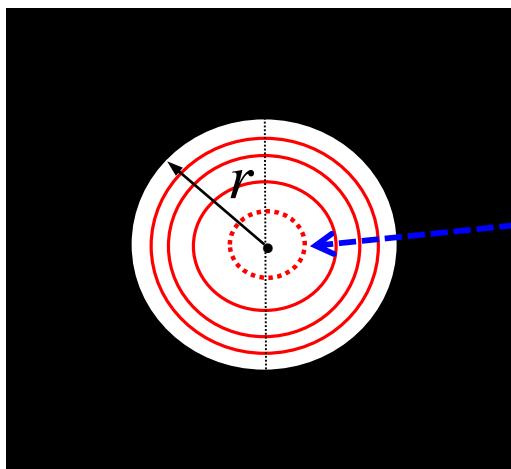
... и на щели так бывает:



2.1. Спираль Френеля



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

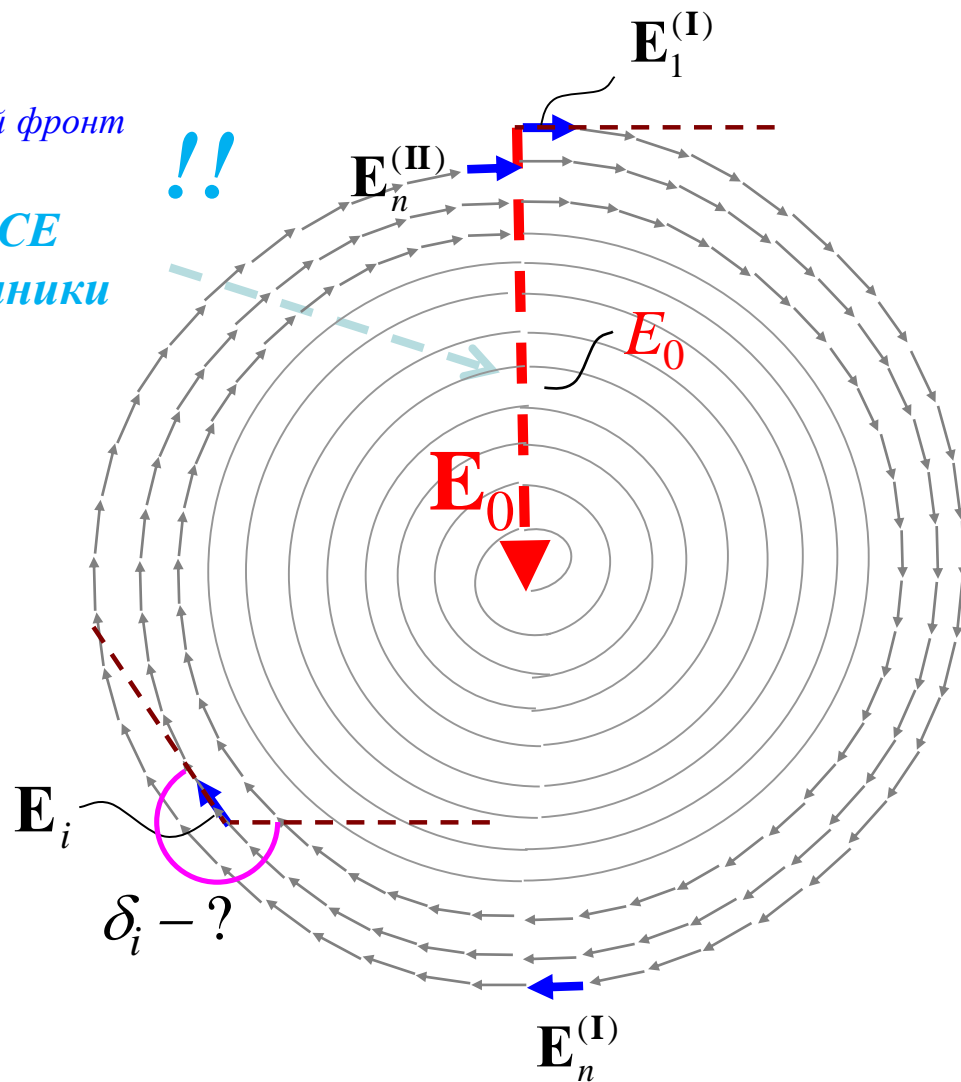


“ i ”–й вторичный источник и
несколько первых зон Френеля
внутри отверстия

Спираль Френеля – векторы-колебания для центра дифракционной картины

Открыт весь волновой фронт
 \Rightarrow
 “Работают” ВСЕ
 вторичные источники

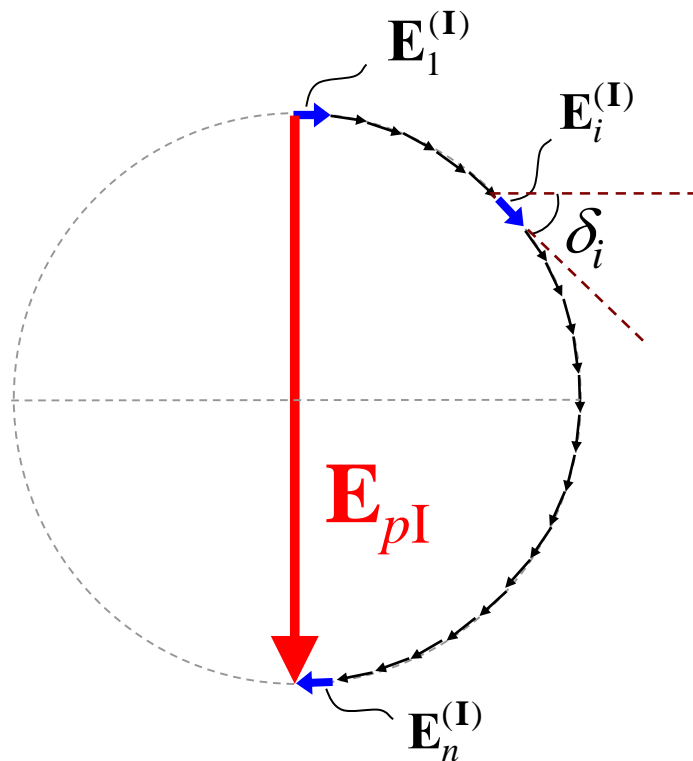
$r \rightarrow \Delta \rightarrow \delta \rightarrow$
 \rightarrow “точка на спирали”



Примеры:



2.2. Основные результаты

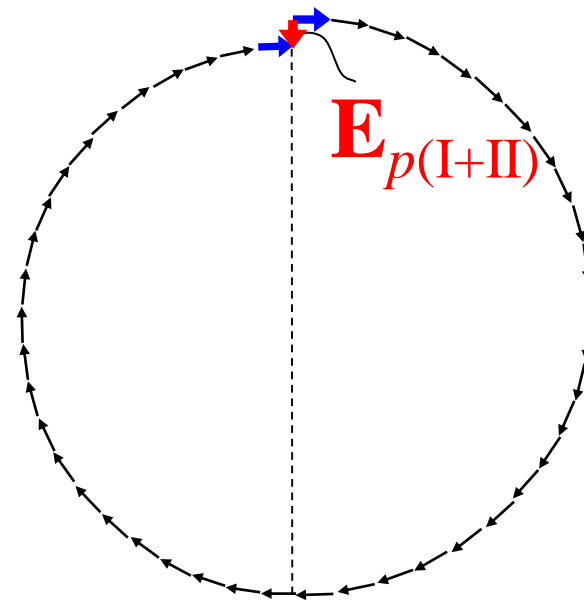


a) открыта одна зона Френеля

$$I = 4I_0$$

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 ”)

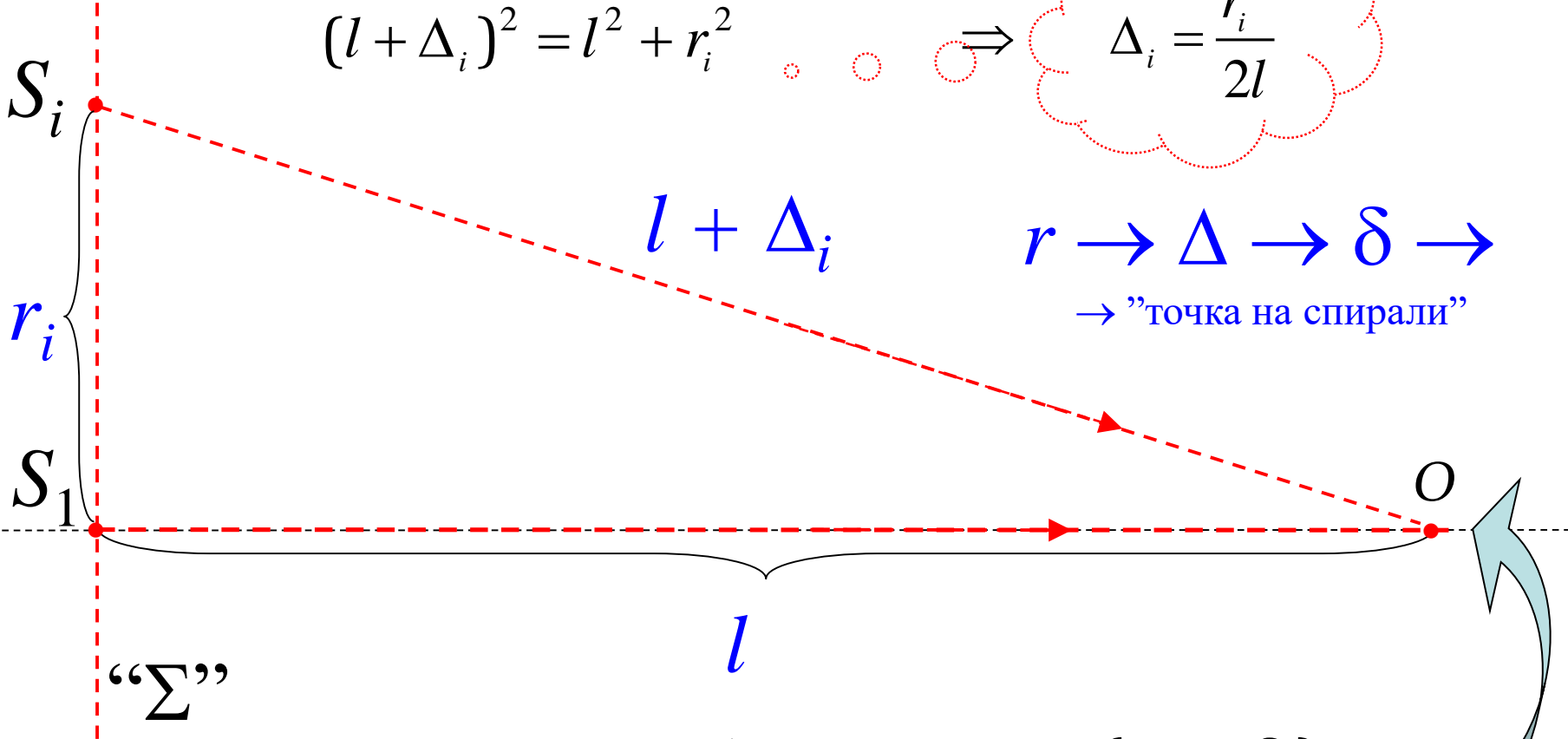
$$(l + \Delta_i)^2 = l^2 + r_i^2$$

\Rightarrow

$$\Delta_i = \frac{r_i^2}{2l}$$

$$l + \Delta_i$$

$r \rightarrow \Delta \rightarrow \delta \rightarrow$
 \rightarrow ”точка на спирали”



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

Запаздывает по фазе (!) $-\delta_i$

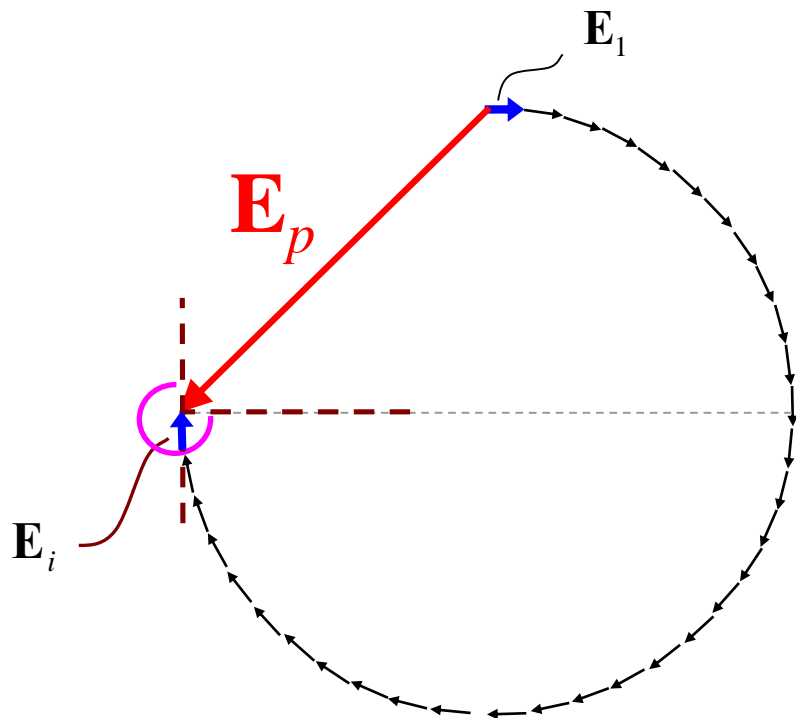
$$\delta_i = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta_i$$

Пример

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

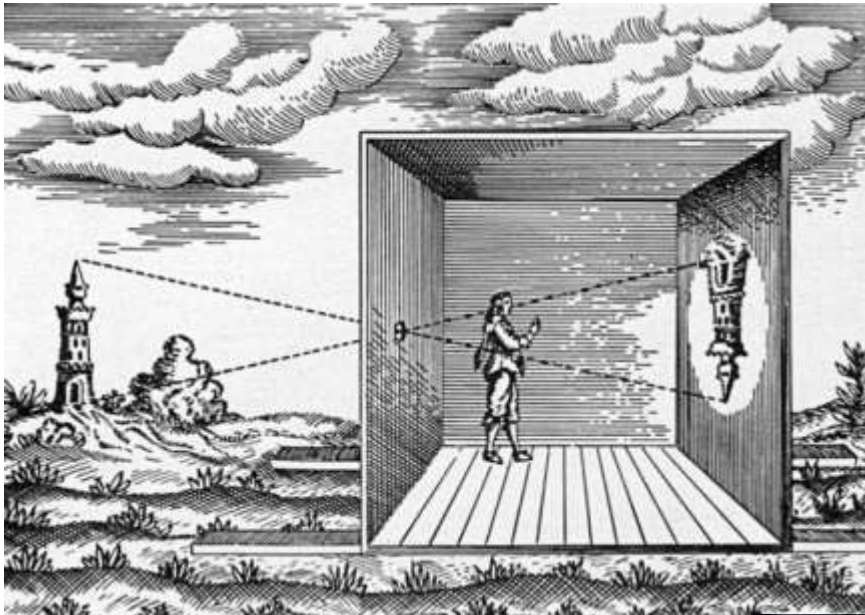
А где «фокус»?

$$l_1 = \frac{r^2}{\lambda}$$



«Камера-обскура»

«Камера-обскура»



Эдинбург




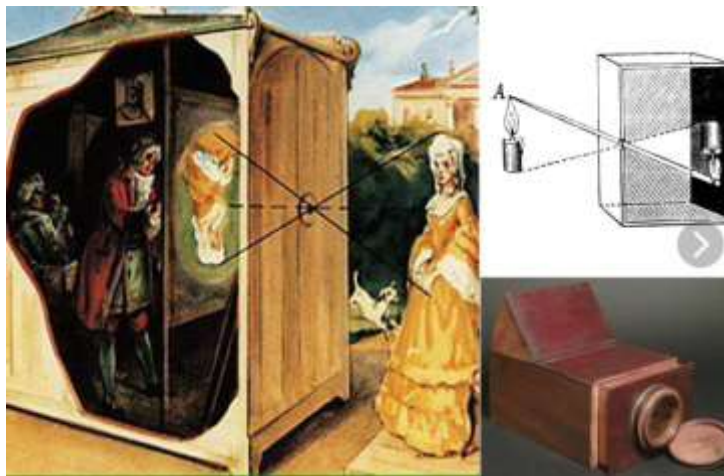
«Камера-обскура»

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



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

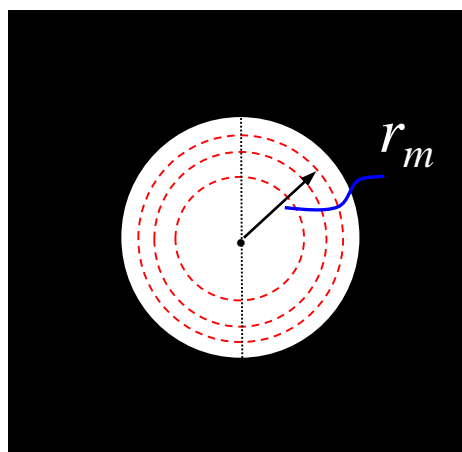
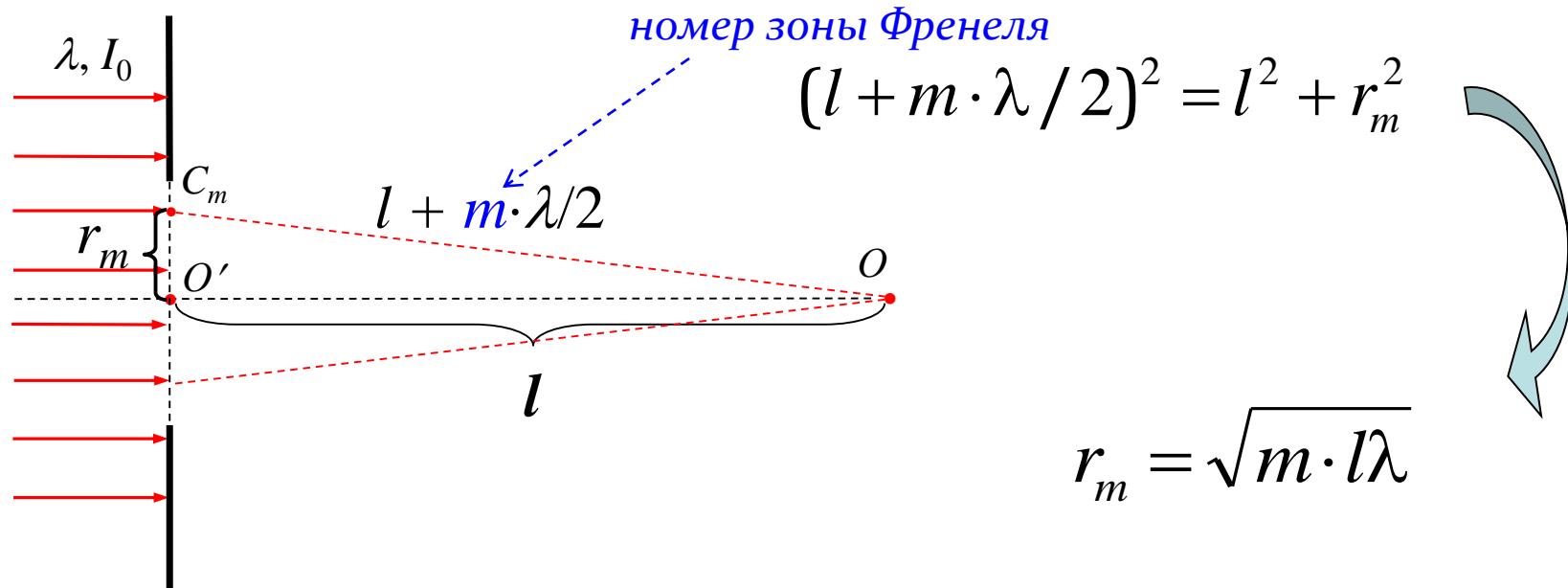

$$"F" = \frac{r^2}{\lambda}$$



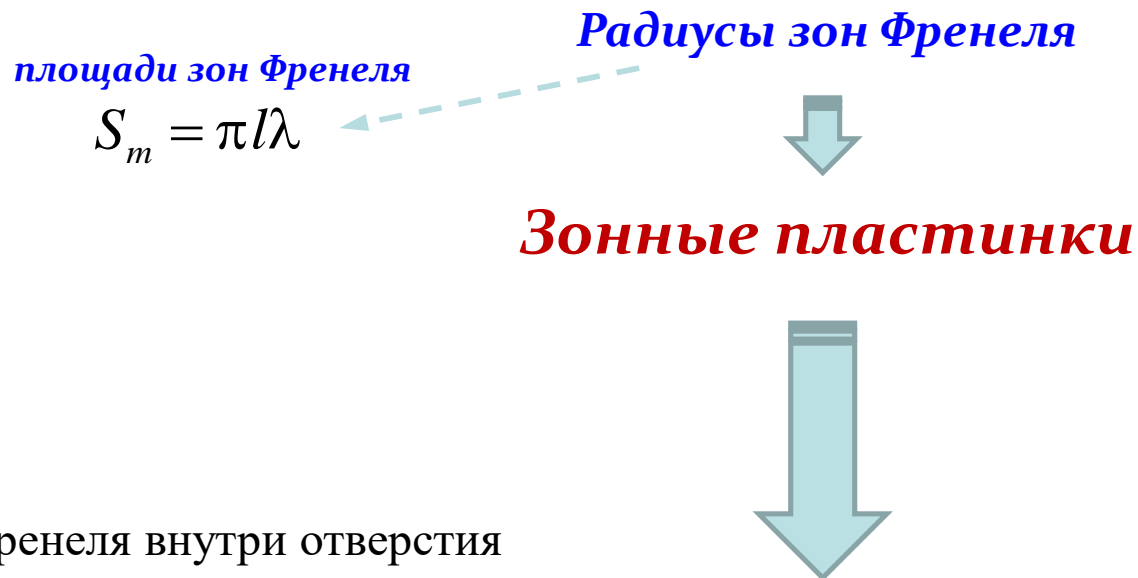
Фото, выполненное при помощи камеры



2.3. Размеры зон Френеля. Зонные пластинки



Несколько первых зон Френеля внутри отверстия



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

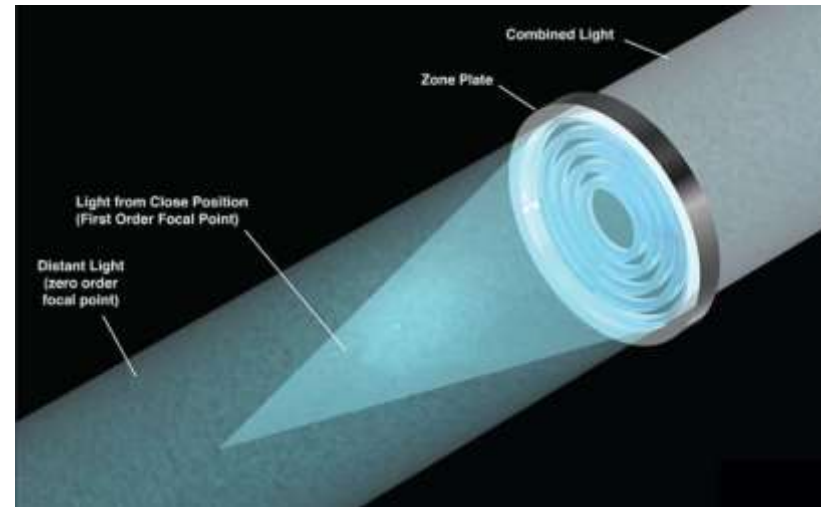
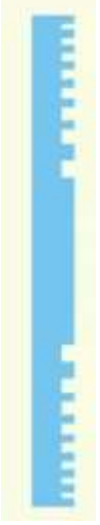
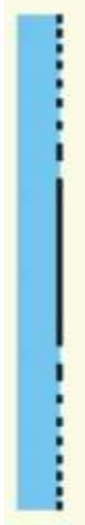
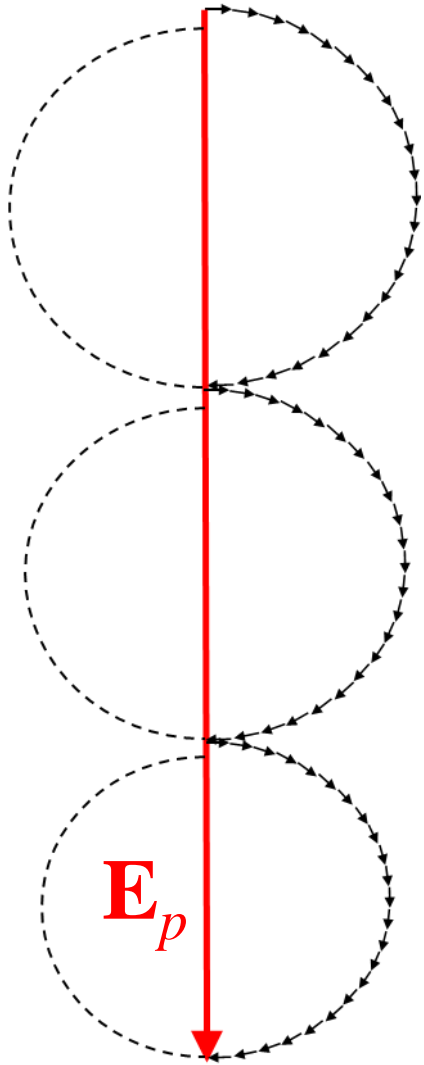
$$I^{(A)} = 4N^2 \cdot I_0$$

(амплитудная –
«линза Вуда»)

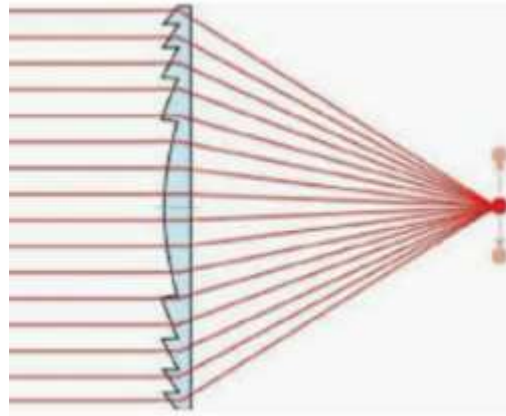
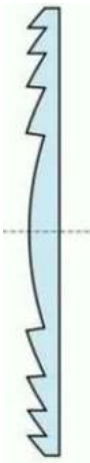
$$I^{(\Phi)} = 4 \cdot I^{(A)}$$

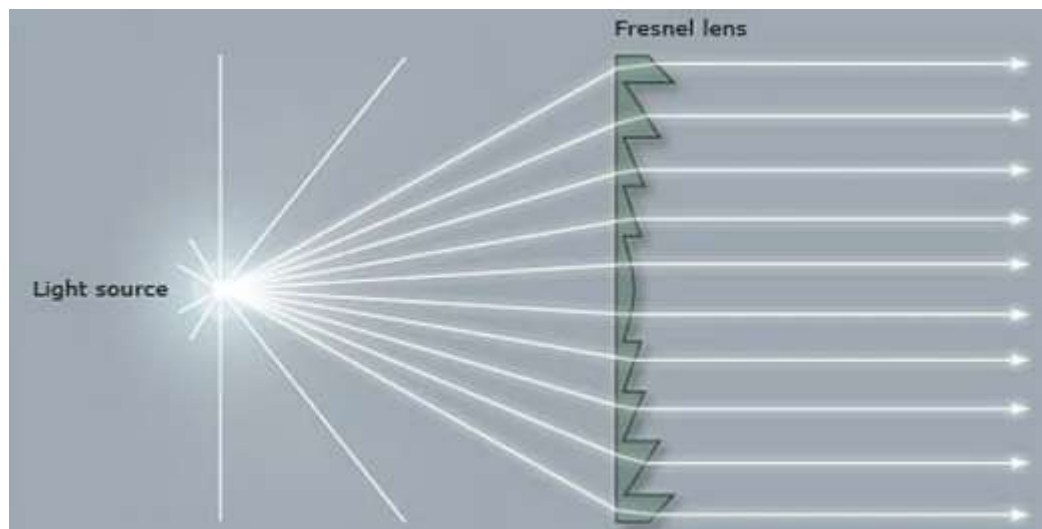
(фазовая –
«линза Френеля»)

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



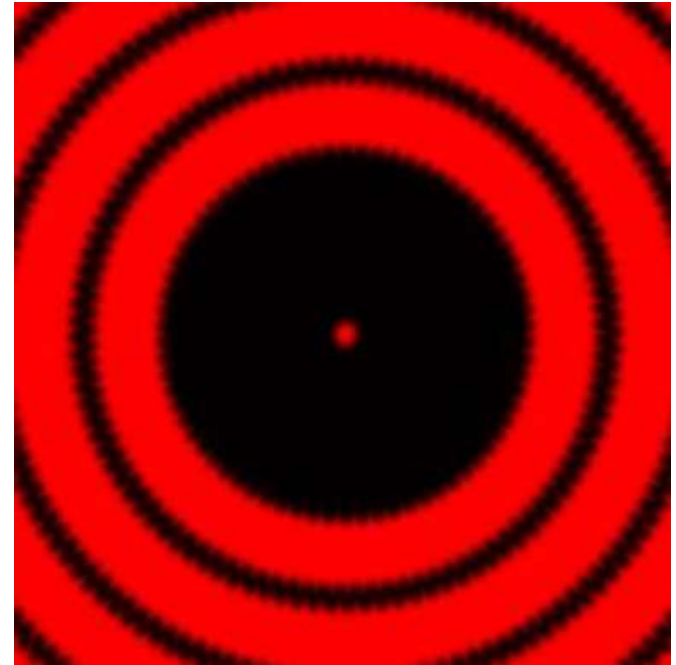
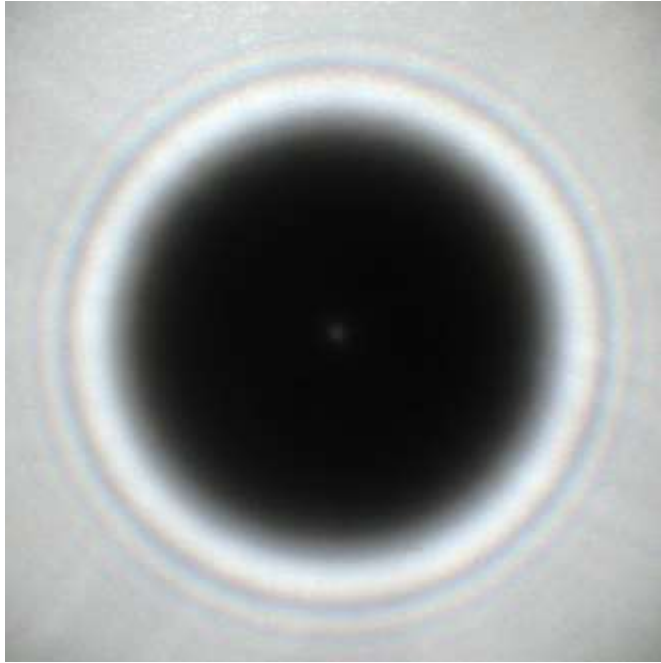
Линзы Френеля



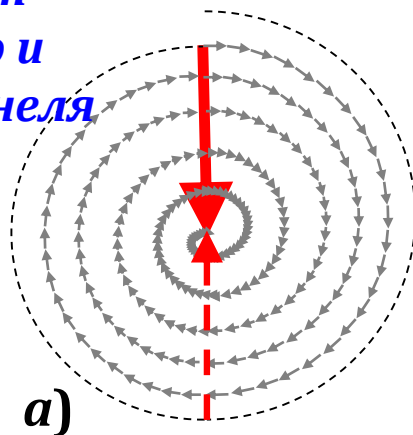




2.4. Дифракция на диске. Пятно Пуассона – Араго (1818 г.)

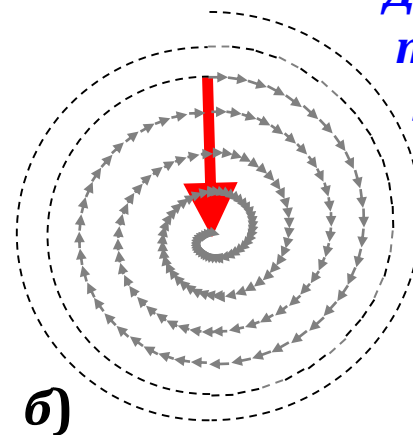


*Диск закрывает
первую / первую и
вторую зоны Френеля*



а)

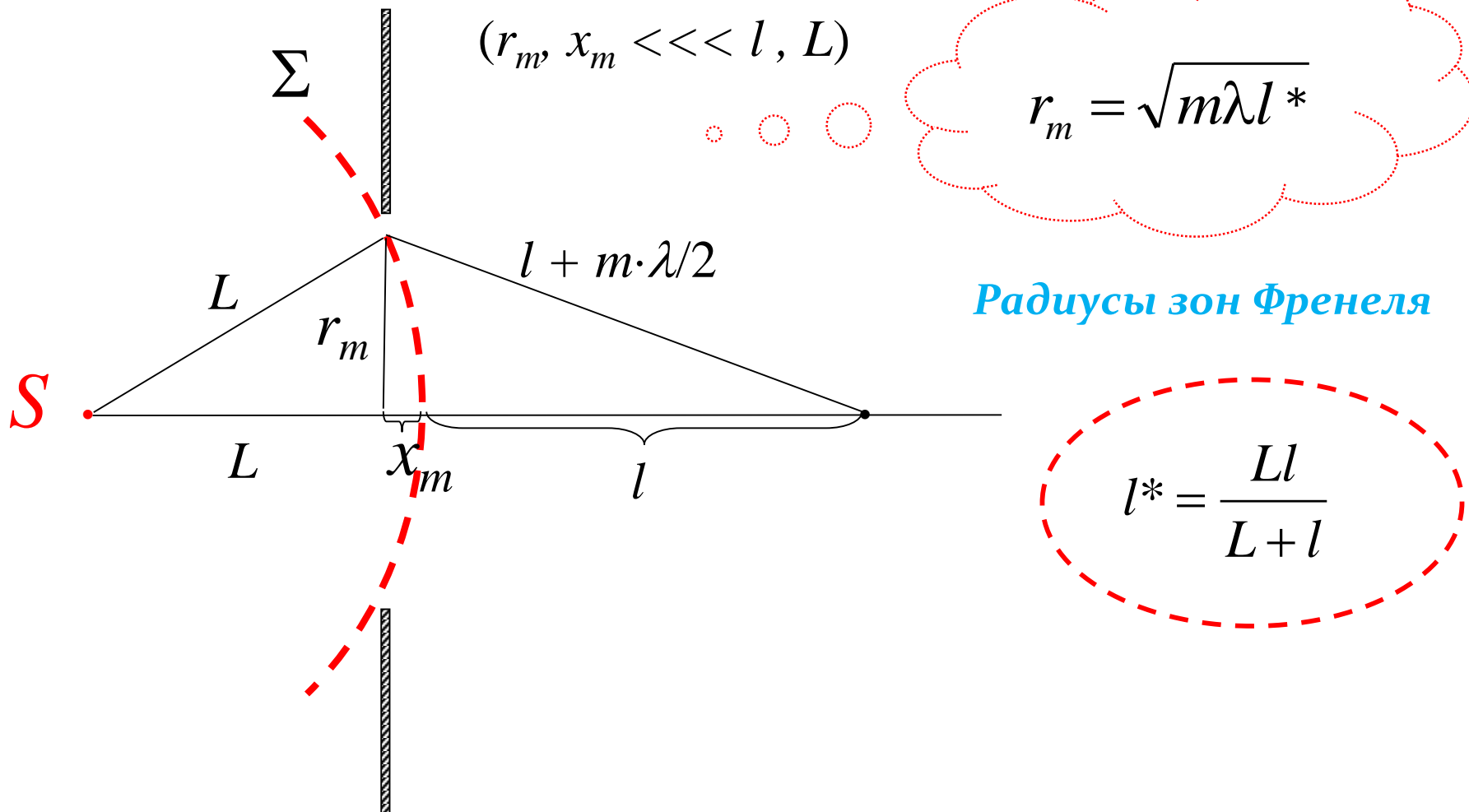
*Диск закрывает
первые четыре
зоны Френеля*



б)

2.5. Замечания к § 2

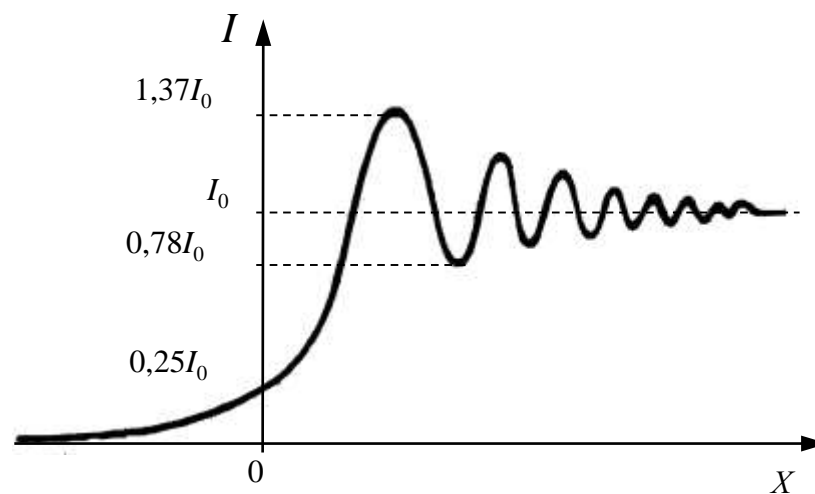
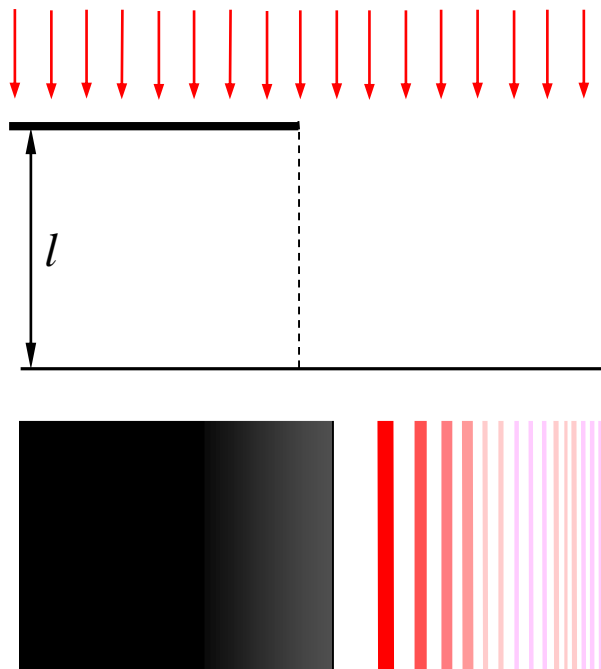
1) Точечный источник (сферическая волна)



2) Форма препятствия

??

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



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

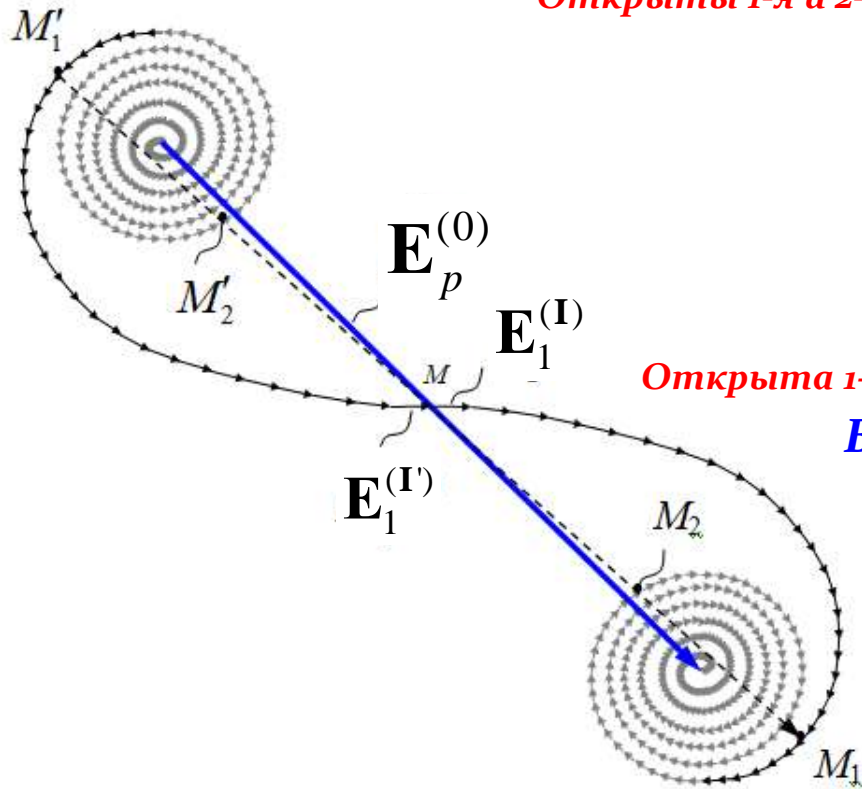
Дифракционная картина Френеля при дифракции на щели:

горизонтальная щель

****) Анализ: “Спираль Корню”**

В центре минимум !

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

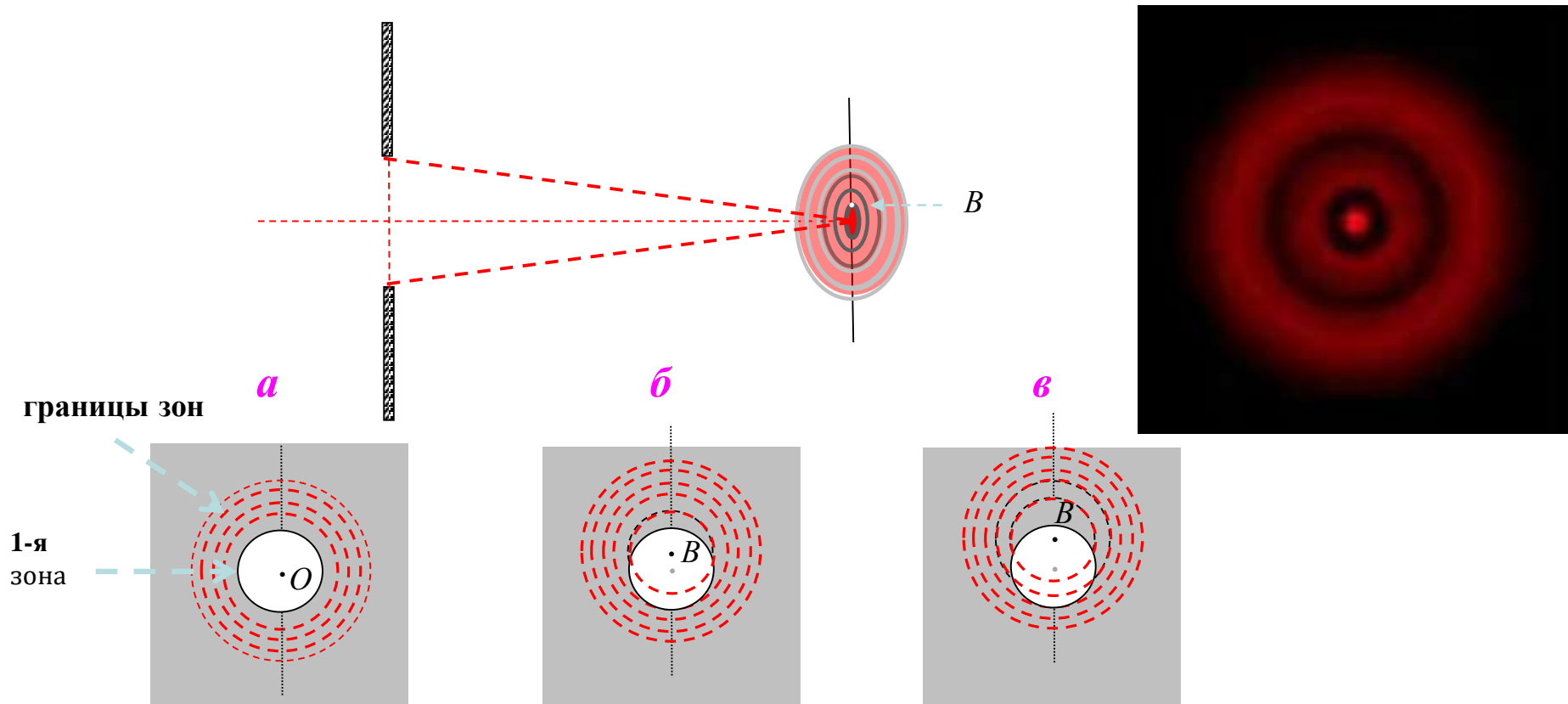


Открыта 1-я зона Френеля-Шустера:

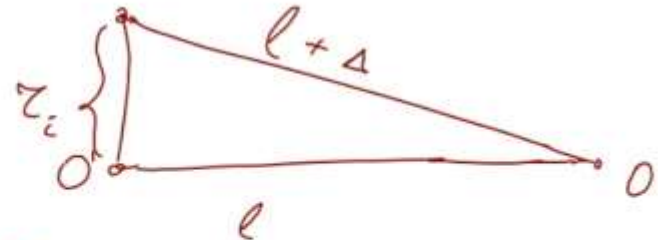
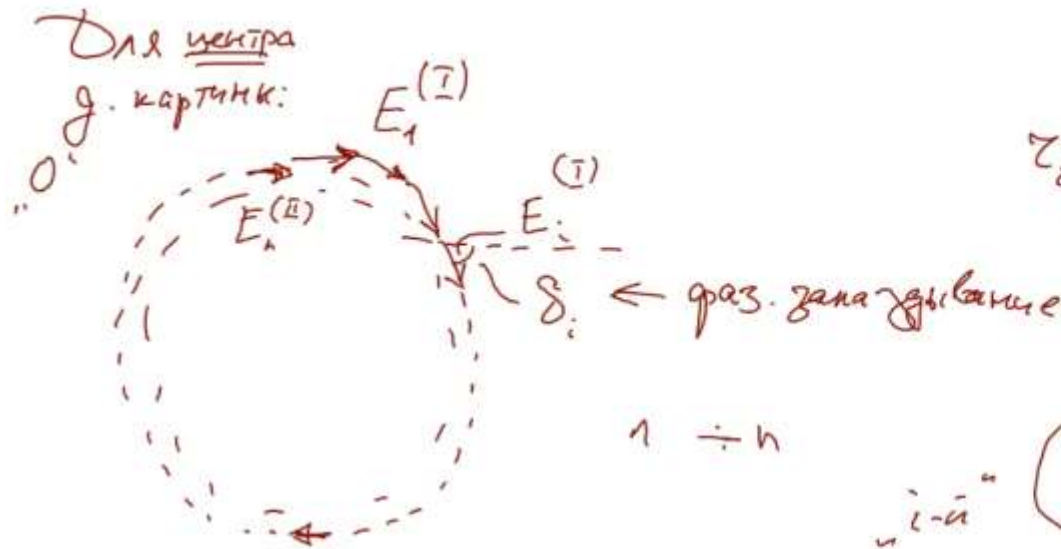
В центре максимум



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



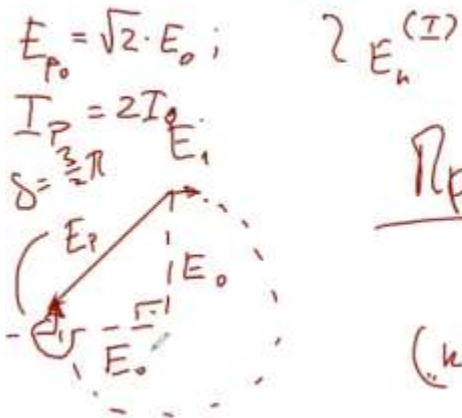
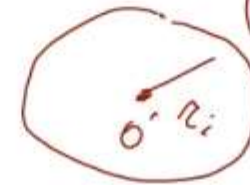
Доска



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

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

$$l \gg \Delta, z$$



Пример: $z = 1 \text{ мм};$
 $l = 1 \text{ м};$
 ("крайний") $\lambda_0 = 670 \text{ нм}$

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

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

$$\Delta = \frac{z^2}{2l} = \dots \rightarrow \delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot \frac{z^2}{2l} \approx \underline{\underline{\frac{3}{2}\pi}}$$