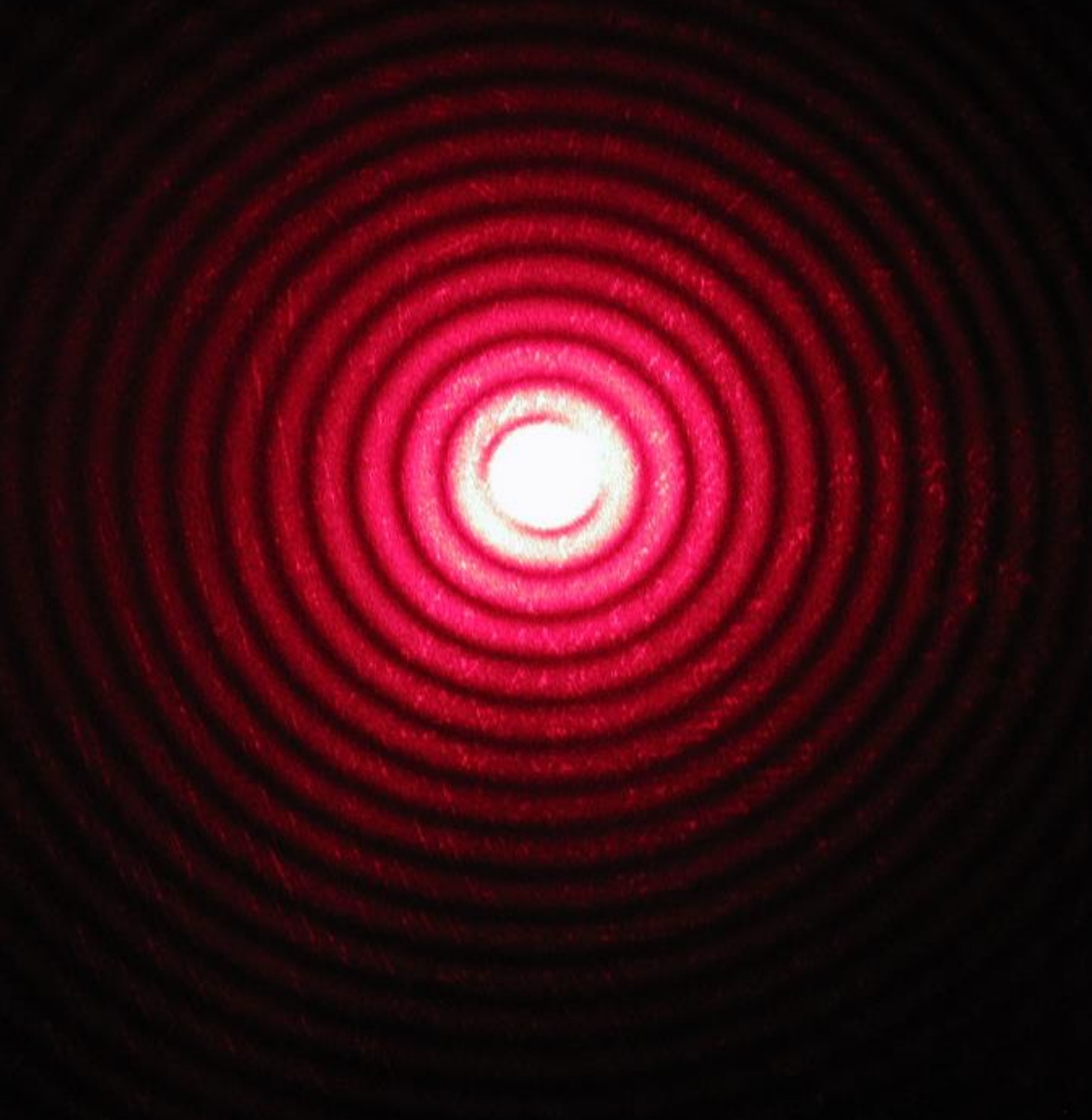
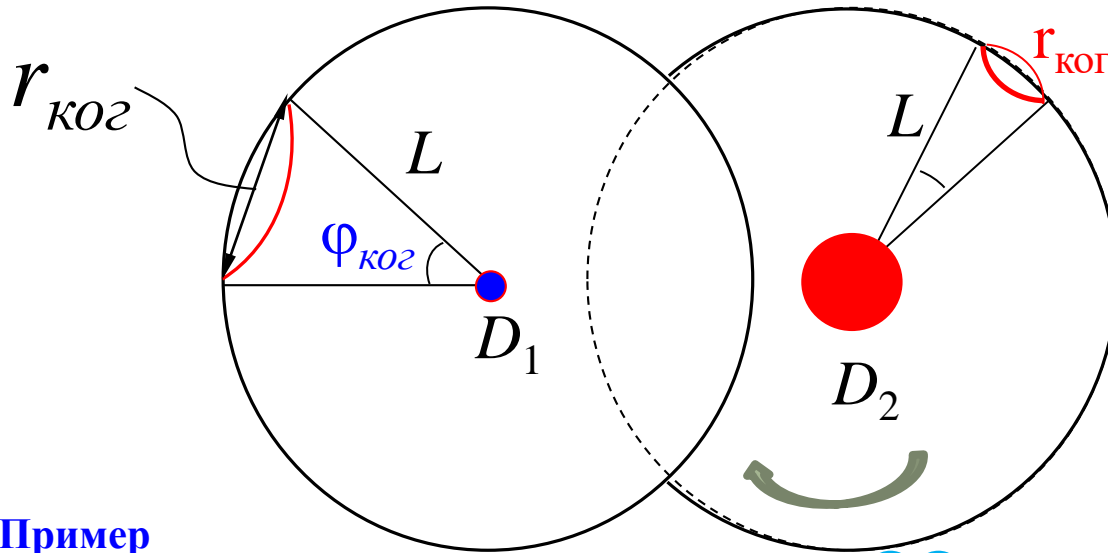


Лекция 10. Дифракция Френеля



2) Пространственная когерентность Размеры источника (D)

$$r_{\text{ког}} = \frac{L}{D} \lambda$$



или

$$r_{\text{ког}} = \frac{\lambda}{2\beta}$$

↑
угловой
размер
источника

Пример

“Солнце”: $2\beta \approx 0,01$ рад $r_{\text{ког}} = ??$ $r_{\text{ког}}^{(\text{Солнца})} = \frac{\dots}{0,01} = \dots$

♣ Замечания

1) «Абсолютная когерентность»: $\delta = \text{const}$ или

а) $\varphi_{01} - \varphi_{02} = \text{const}$; б) $\omega_1 = \omega_2 = \omega_0$. (λ_0)

2) Реальная: а) $\Delta < l_{\text{ког}}$ и б) в пространственных пределах радиуса когерентности.

3) Интерференции нет, если $\vec{E}_1 \perp \vec{E}_2$ (задача 8.3). $\vec{E}_1(t) + \vec{E}_2(t) = ?$

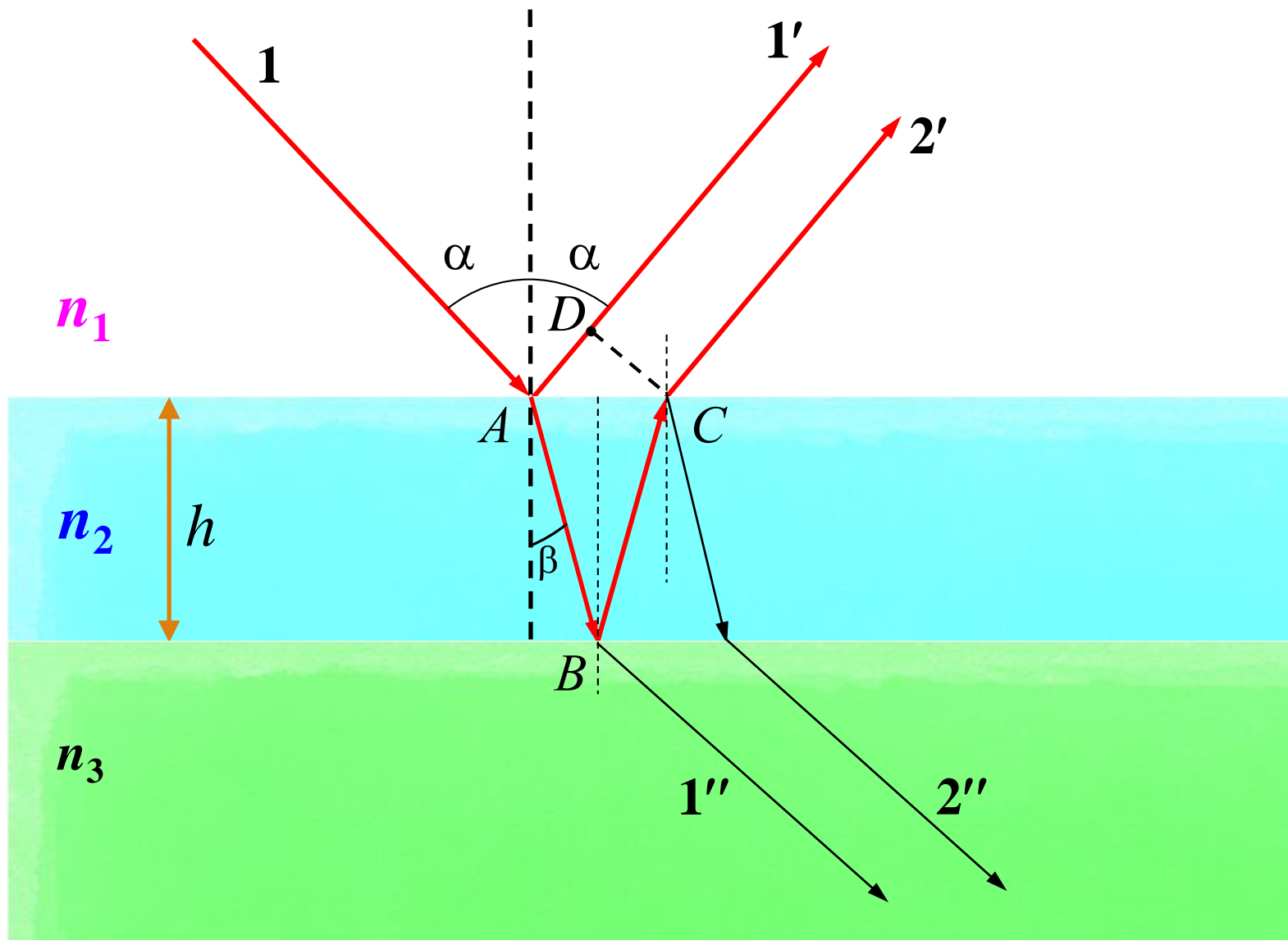
§4. Интерференция в тонких плёнках

Мыльный пузырь, витая в воздухе ... зажигается всеми оттенками цветов, присущими окружающим предметам.

*Мыльный пузырь, пожалуй, самое
изысканное чудо природы
Марк Твен*



4.1. Оптическая схема. Условия максимумов и минимумов («деление светового потока»)



4.1. Оптическая схема. Условия максимумов и минимумов

Наблюдение в отражённом свете:

$$\Delta r = \underbrace{(AB + BC)}_{\text{путь волны «2'»}} - \underbrace{AD}_{\text{путь волны «1'»}}$$

← геометрическая р. х.

оптическая р. х. – Δ ??

4.1.1. "Случай" $n_1 < n_2 < n_3$ (- важно)

В отражённом свете:

$$\Delta = (AB + BC) \cdot n_2 - AD \cdot n_1 = \{ \text{“геометрия”} + \text{закон преломления} \} =$$

$$= \underline{\underline{2h \cdot n_2 \cdot \cos \beta}}$$

$$\text{max: } 2h \cdot n_2 \cdot \cos \beta = m \lambda_0,$$

$$\text{min: } 2h \cdot n_2 \cdot \cos \beta = \left(m - \frac{1}{2} \right) \lambda_0 \quad m = 1, 2, \dots$$

При нормальном падении
в отражённом свете

$$\text{max: } 2h \cdot n_2 = m \lambda_0,$$

$$\text{min: } 2h \cdot n_2 = \left(m - \frac{1}{2} \right) \lambda_0$$

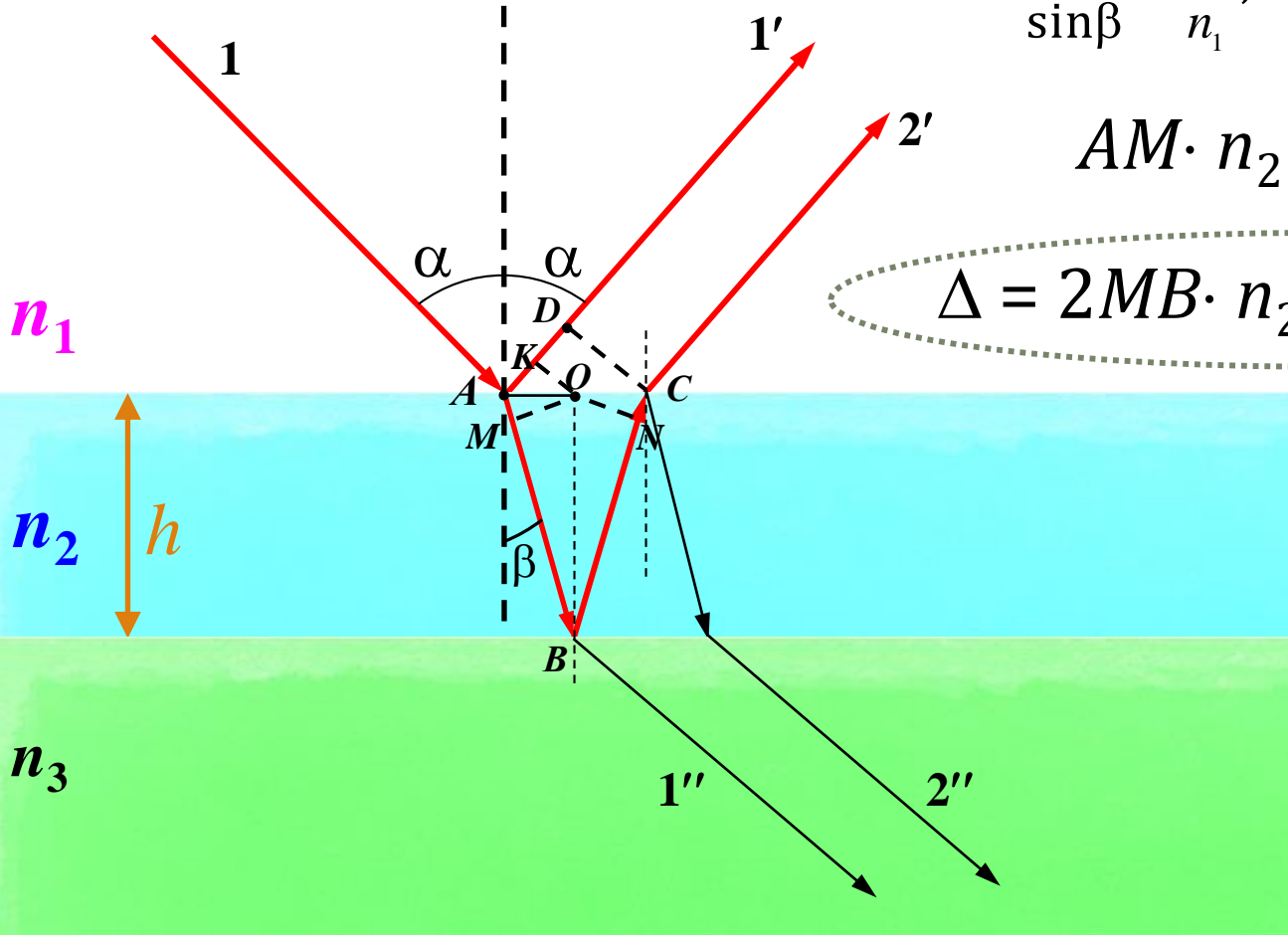
***) Вычисление оптической разности хода**

$$\Delta = 2AB \cdot n_2 - 2AK \cdot n_1$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}; \quad AO = \frac{AK}{\sin \alpha} = \frac{AM}{\sin \beta}$$

$$AM \cdot n_2 = AK \cdot n_1$$

$$\Delta = 2MB \cdot n_2 = 2(h \cos \beta) \cdot n_2$$



Пример 1. "Просветление оптики" (Задача 8.10)

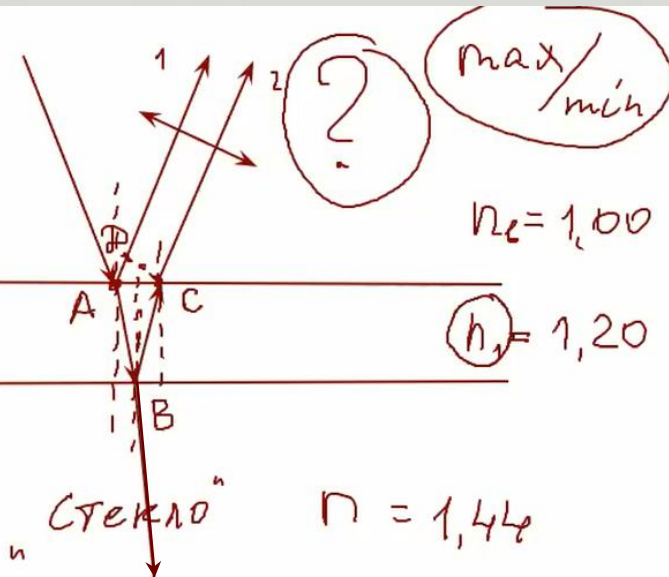
$$n_2 = 1,2 (< n_3 = n_{\text{ст}} \approx 1,5)$$

Просветление ??

Для $\lambda_0 = 480$ нм (синий цвет)

$$\text{min: } \Delta = (m - \frac{1}{2}) \cdot \lambda_0 \rightarrow \frac{\lambda_0}{2}$$
$$2h \cdot n_1 = \frac{\lambda_0}{2} \Rightarrow$$

$$h = 0,1 \text{ мкм}$$



4.1.2. "Другие соотношения" $n_1 ? n_2 ? n_3$

Например: $n_1 < n_2 > n_3$ – «Свободная плёнка»

или: $n_1 > n_2 < n_3$ – «Воздушный зазор»

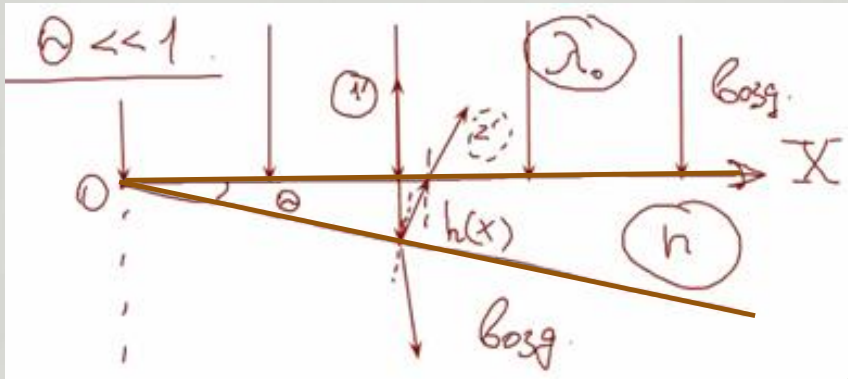
При расчёте Δ надо учесть ещё один фактор

Какой ??

4.2. "Полосы равной толщины" ??

(Задачи 8.11 ÷ 8.13)

4.2.1. $h = h(x)$. Например: Клиновидная пластинка - $h = k \cdot x$



$$k = \text{tg}\theta ; \quad h = \text{tg}\theta \cdot x \approx \theta \cdot x$$

При расчёте Δ надо учесть ещё один фактор :

!! При отражении от оптически более плотной среды фаза меняется на π

≡

Оптический путь увеличивается на $\lambda/2$

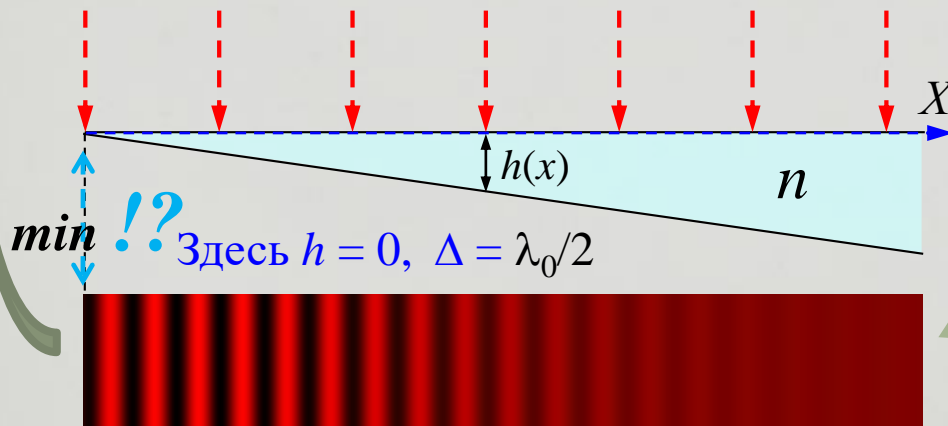
$$\Delta = 2h(x) \cdot n + \lambda_0/2$$

А что у вершины ??

$$\Delta = \underbrace{2h(x) \cdot n}_{x \cdot \theta} + \frac{\lambda_0}{2} ;$$

$$\text{max} : \quad 2x \cdot \theta \cdot n = (m - \frac{1}{2}) \cdot \lambda_0$$

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



А почему падает видимость ?

Сколько полос ?

Каков максимальный порядок ?

Чем ограничена толщина h ?

$$\Delta = \lambda_0, \quad m = 1 \text{ (максимум 1-го порядка)}$$

$$\delta = 2\pi$$

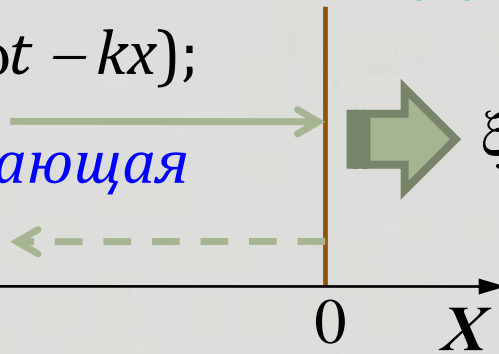
***) «Переворот фазы» при отражении**

**При отражении от оптически более плотной среды
фаза волны меняется на π**

??

$$\xi^{(+)}(x,t) = A \cos(\omega t - kx);$$

волна падающая



$$\xi_p(x,t) = \underline{\underline{2A}} \cos(\underline{\underline{\varphi/2}}) \cdot \cos(2\omega t + 2\varphi)$$

Амплитуда стоячей волны !!

$$\xi^{(-)}(x,t) = A \cos(\omega t - kx + \varphi);$$

волна отражённая

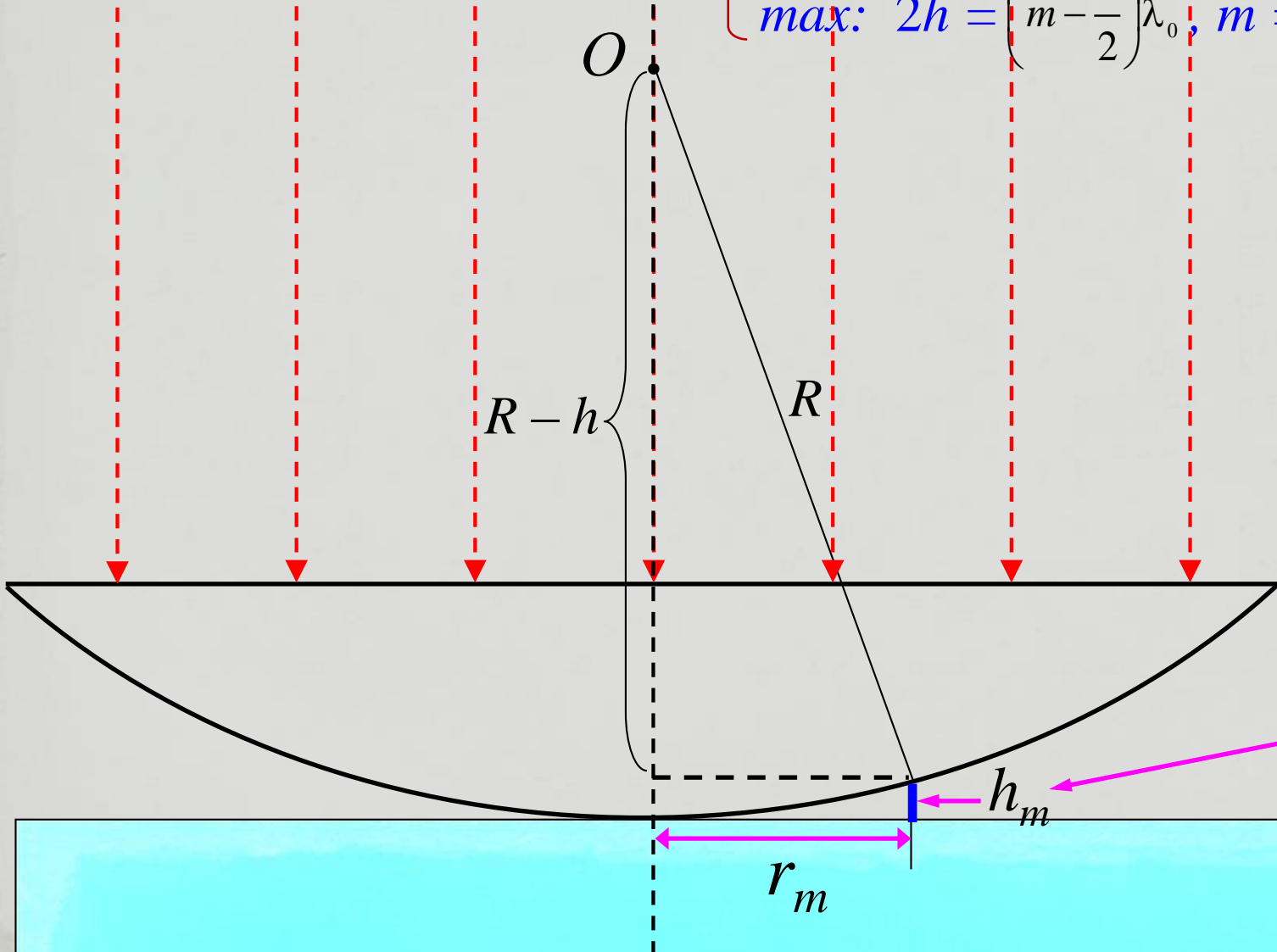
В точке отражения – «узел», т.е. амплитуда = 0

$$2A \cos(\varphi/2) = 0 \Rightarrow \cos(\varphi/2) = 0 \Rightarrow \varphi/2 = \pi/2 \Rightarrow \varphi = \pm \pi$$

4.2.2. Другой пример: “Кольца Ньютона”

В отражённом свете:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{min:} \quad 2h = m\lambda_0, \quad m = 0, 1, 2, \dots \\ \text{max:} \quad 2h = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda_0, \quad m = 1, 2, 3, \dots \end{array} \right.$$



$$h_m = \frac{r_m^2}{2R}$$

Замечания к § 4

1. В «проходящем свете» $\max \leftrightarrow \min$;

2. $h = h(x)$, «белый свет» $\rightarrow \dots$ «Цвета тонких плёнок»
(клин, линза, мыльный пузырь, крылья бабочек, ...)

Пример. Плёнка масла на луже:

$$n_m \approx 1,5; n_g \approx 1,33 < n_m \Rightarrow \Delta = \dots$$

Какого цвета плёнка с $h = 0,1$ мкм?

А там где в 1,5 раза тоньше?

А если толщина разная (от 0,07 до 0,12 мкм)?



Похоже на Задачу 8.10
(просветление оптики),
НО ...

ВОЗДУХ $n = 1$
масло $n_m = 1,5$
вода $n_g \approx 1,33$

$\alpha \ll 1$

$h = 0,1 \text{ мкм}$

$$\Delta = 2h \cdot n_m + \frac{\lambda_0}{2}$$

max $2h \cdot n_m + \frac{\lambda_0}{2} = \lambda_0$

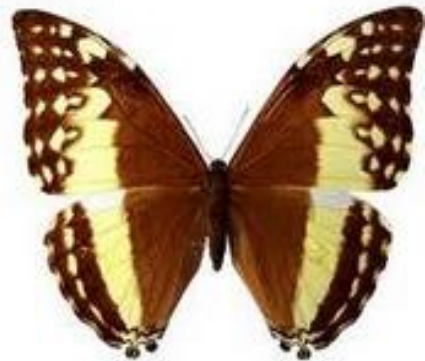
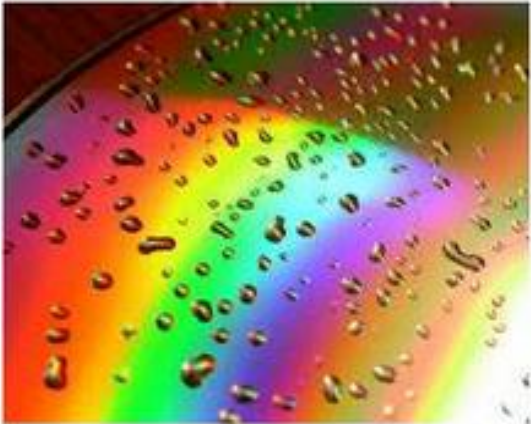
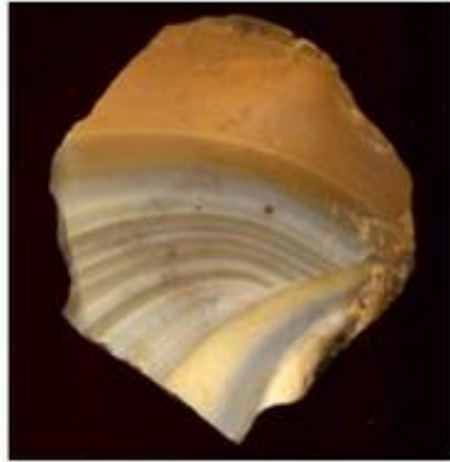
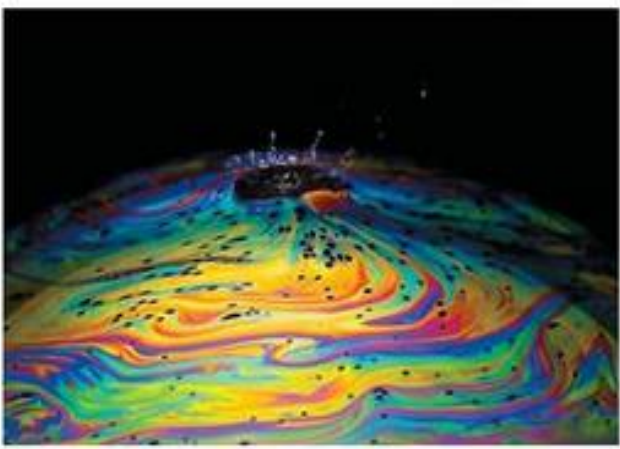
$$\lambda_0^{(\max)} = 4h \cdot n_m = 4 \cdot 0,1 \text{ мкм} \cdot 1,5 = 0,6 \text{ мкм}$$

ПОЧТИ «красный цвет» (600 нм)

$h \approx 0,07 \text{ мкм}$

«фиолетовый»

$$0,06 \text{ мкм} \leq h \leq 0,10 \text{ мкм}$$



3. Мы обсудили $\alpha = \text{const}$ (“полосы равной толщины”).

А если $h = \text{const}$, но α разные?

для каждого значения α свой $\text{max} \Rightarrow$

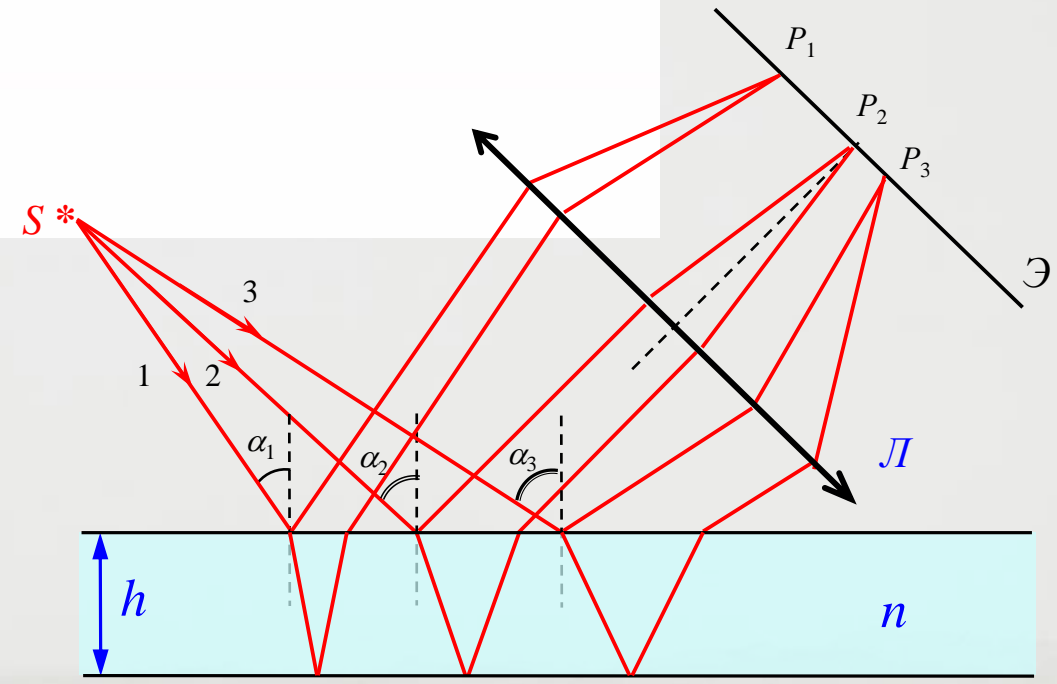


“полосы равного наклона”:

$\alpha = \alpha(z)$

$$\Delta = 2h \cdot n \cdot \cos \beta + \left(\frac{\lambda_0}{2} \right)$$

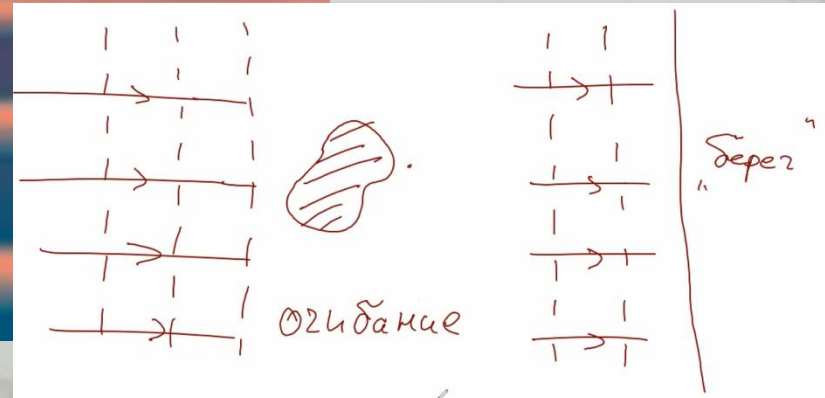
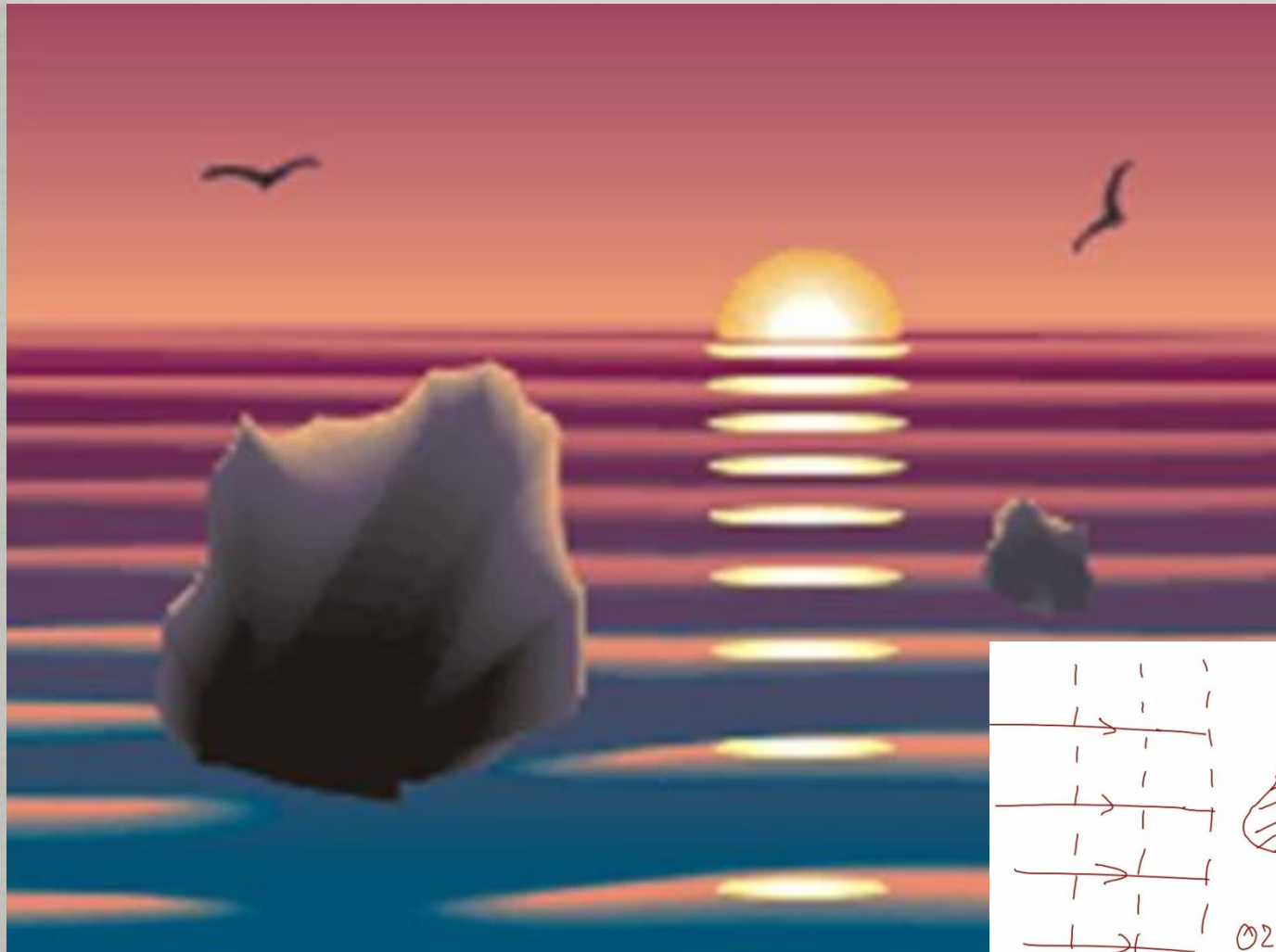
(в отражённом свете)



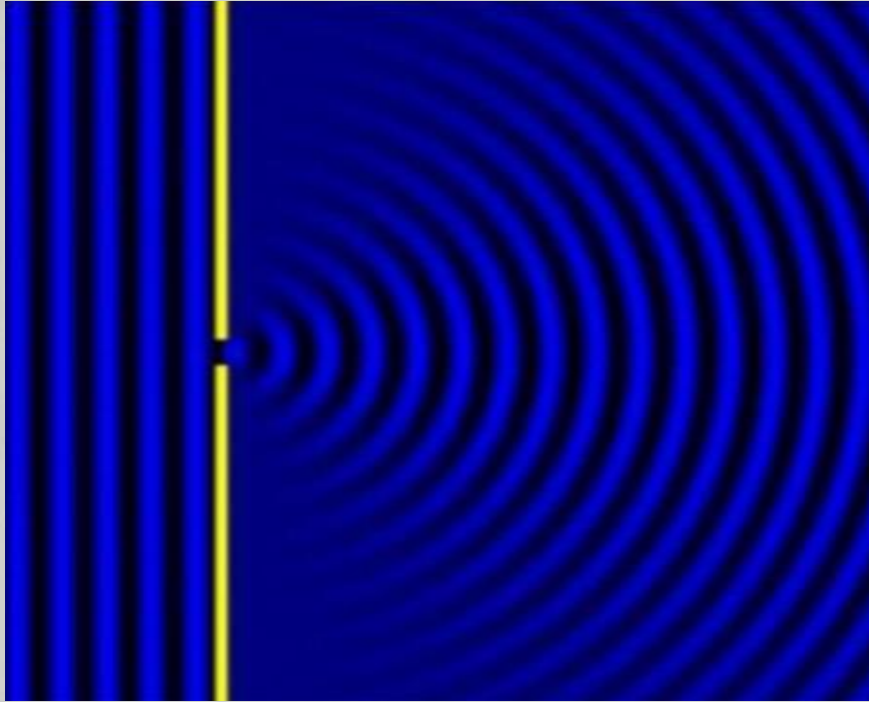
Глава V. Дифракция света

§ 1. Понятие о дифракции

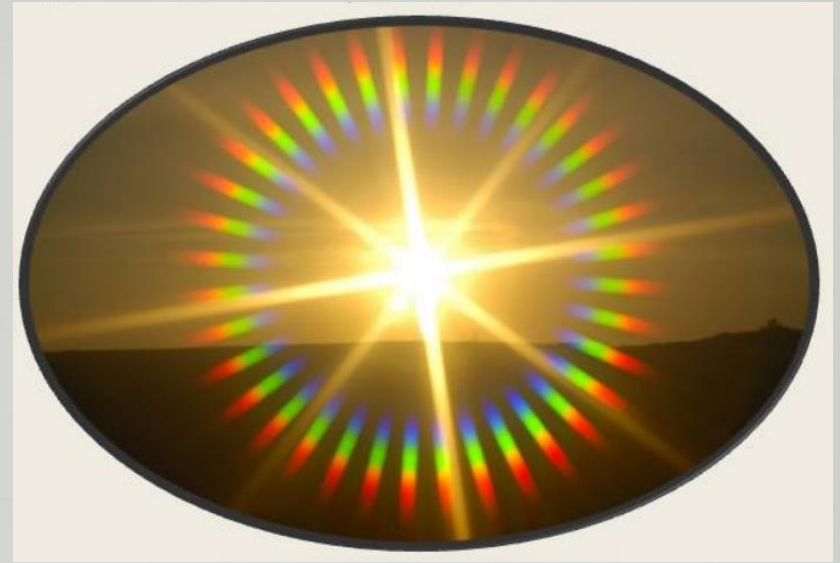
1.1. Огибание препятствий



1.2. Постановка задачи. Принцип Гюйгенса-Френеля



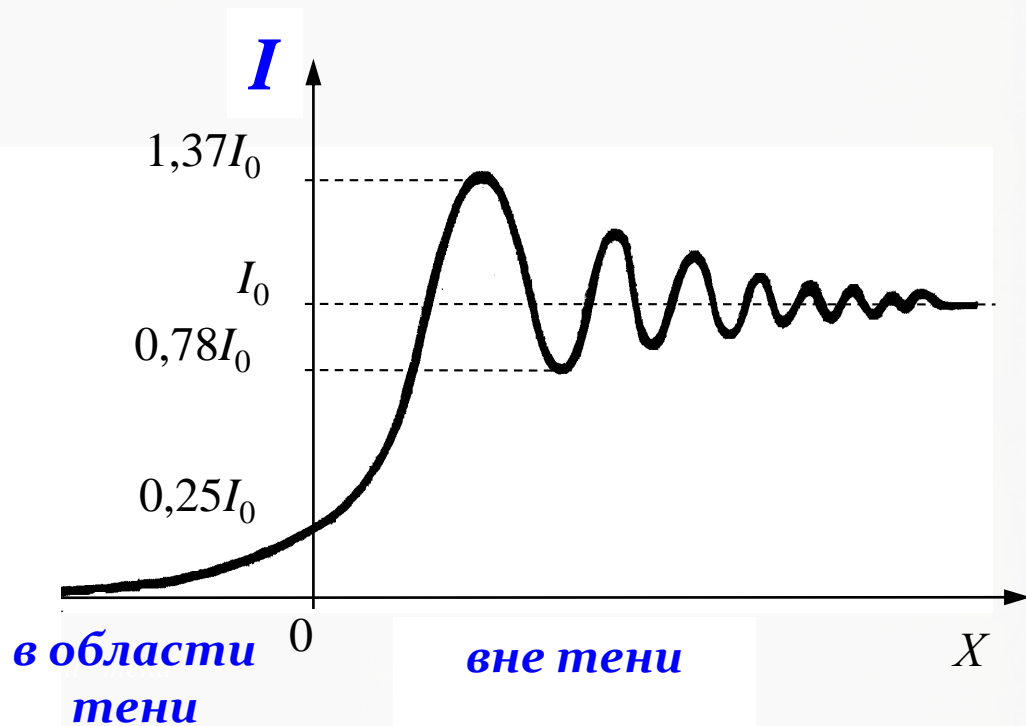
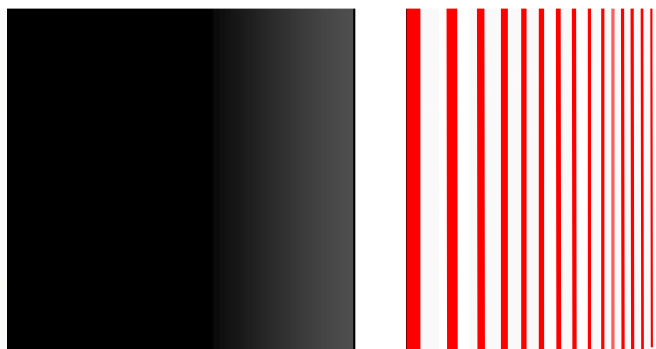
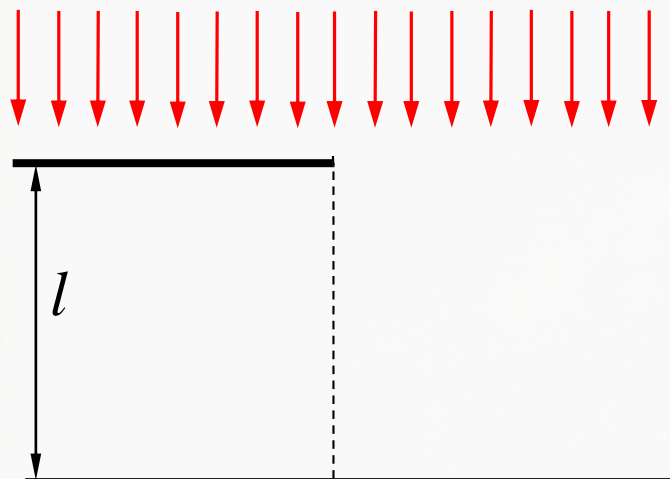
Дифракция света



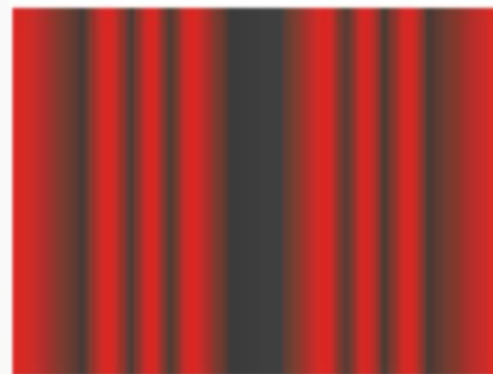
- ➔ При дифракции наблюдаются отклонения от законов геометрической оптики при распространении света в среде с резкими оптическими неоднородностями (в частности, свет проникает в область тени)
- ➔ (Опр.) Дифракцией света называется любое отклонение распространения света от прямолинейного, не связанное с отражением или преломлением (А. Зоммерфельд)

*)

Дифракция Френеля на полуплоскости

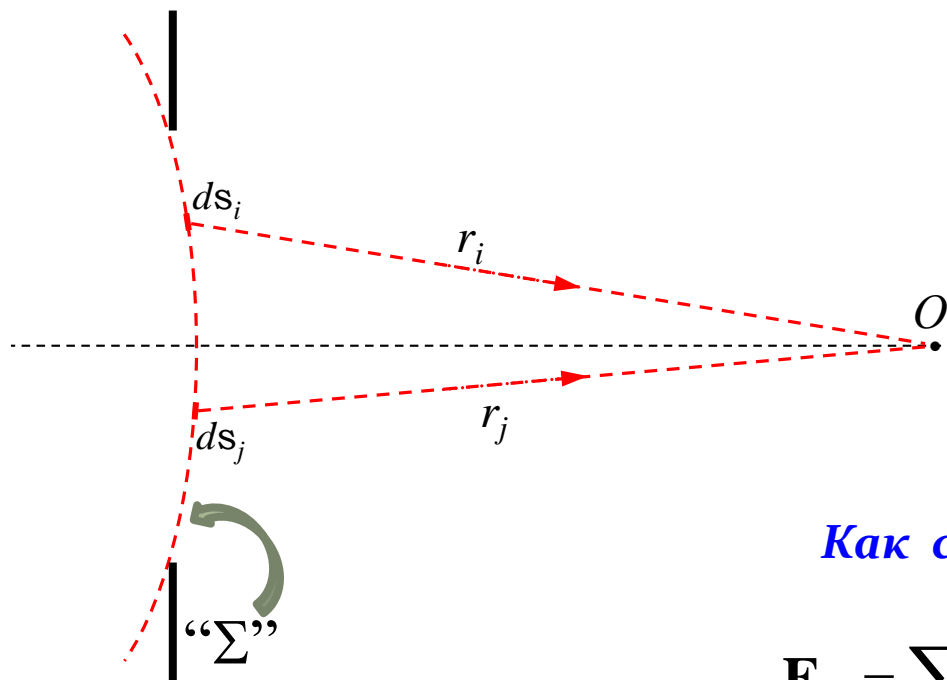


... и на щели



*)

Принцип Гюйгенса-Френеля



$$l \gg r$$

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

или почти параллельны

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)

\vec{E}_i ?

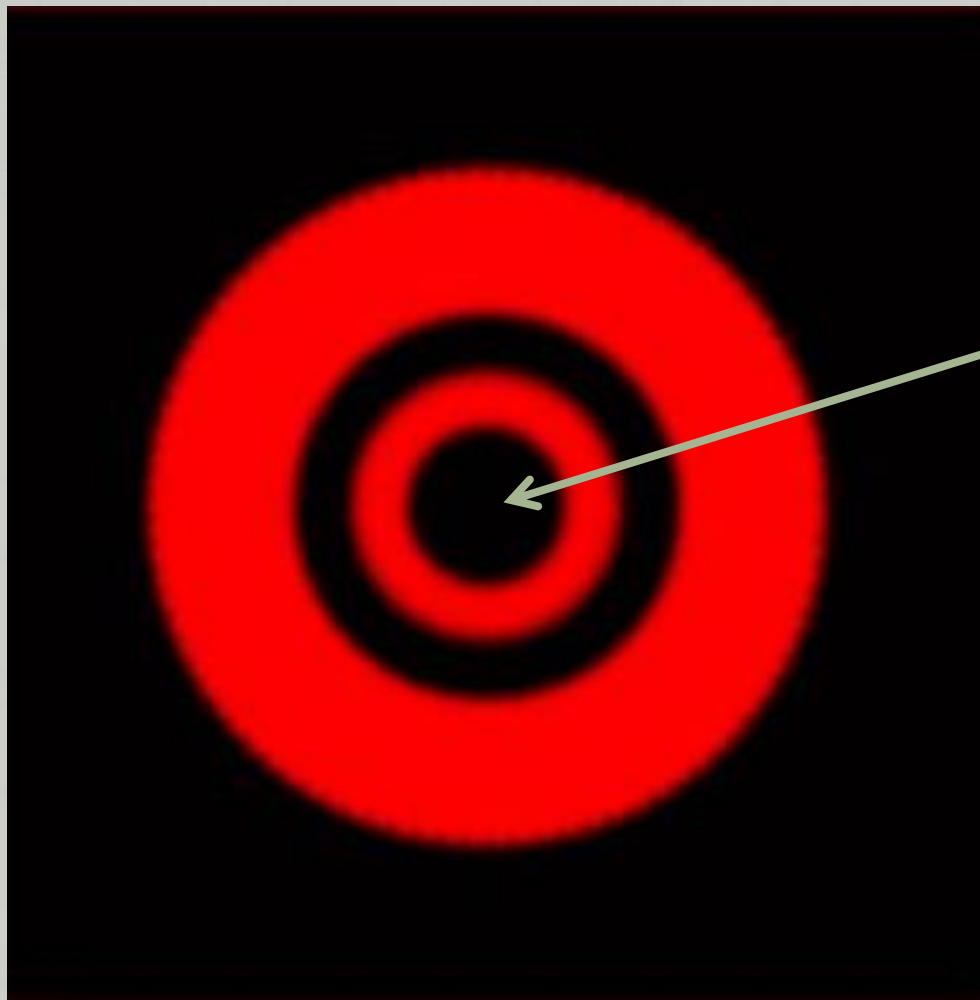
Суммируем векторы-колебания \mathbf{E}_i

(«стрелки» не ставим!)

\Rightarrow **Метод векторных диаграмм !!!**

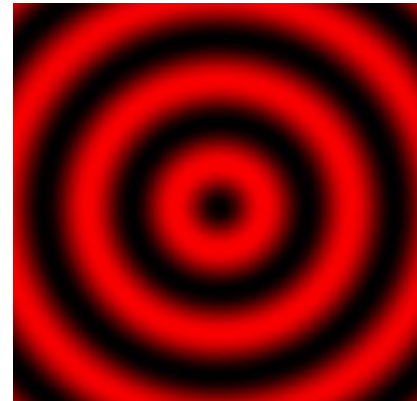
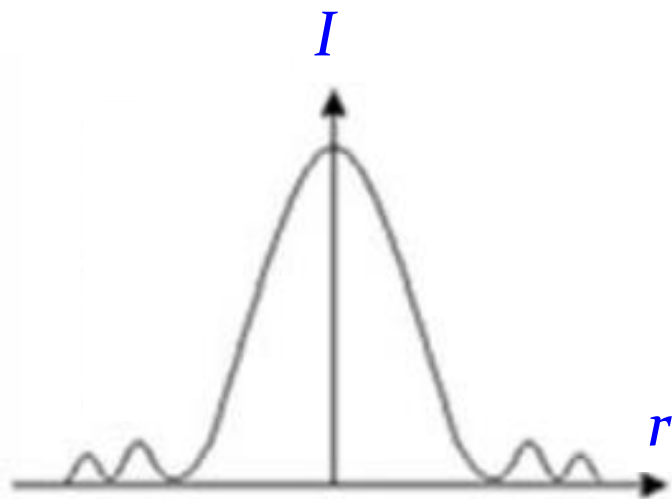
§ 2. Дифракция Френеля на круглом отверстии или диске

Интерференционная \equiv Дифракционная картина



??

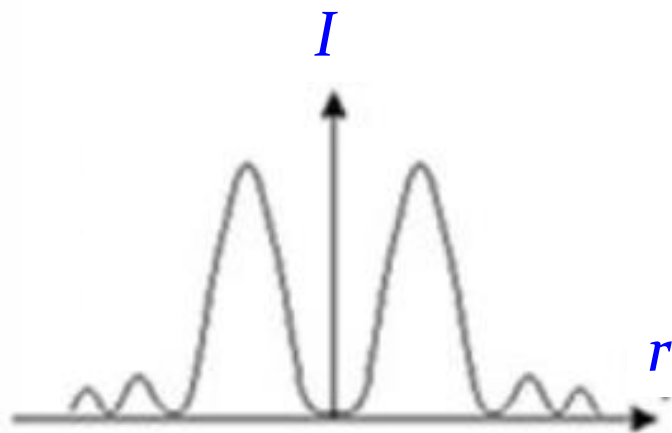
Дифракция на круглом отверстии – что видим ?



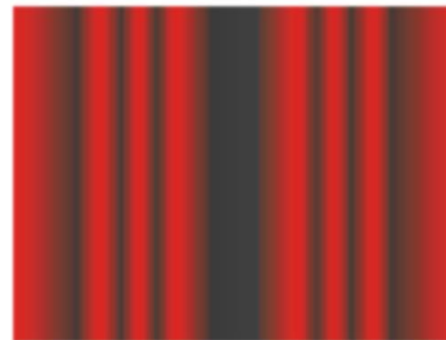
*В центре
максимум*

??

*В центре
минимум*

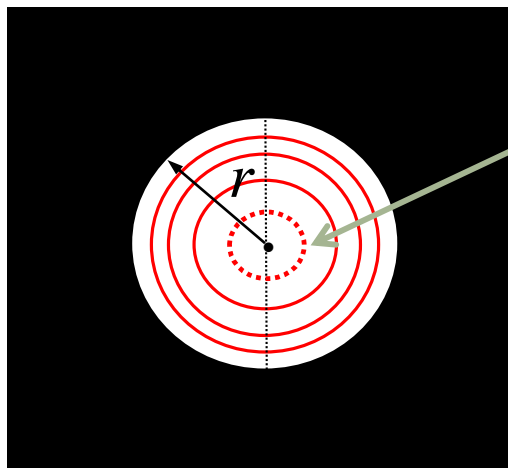
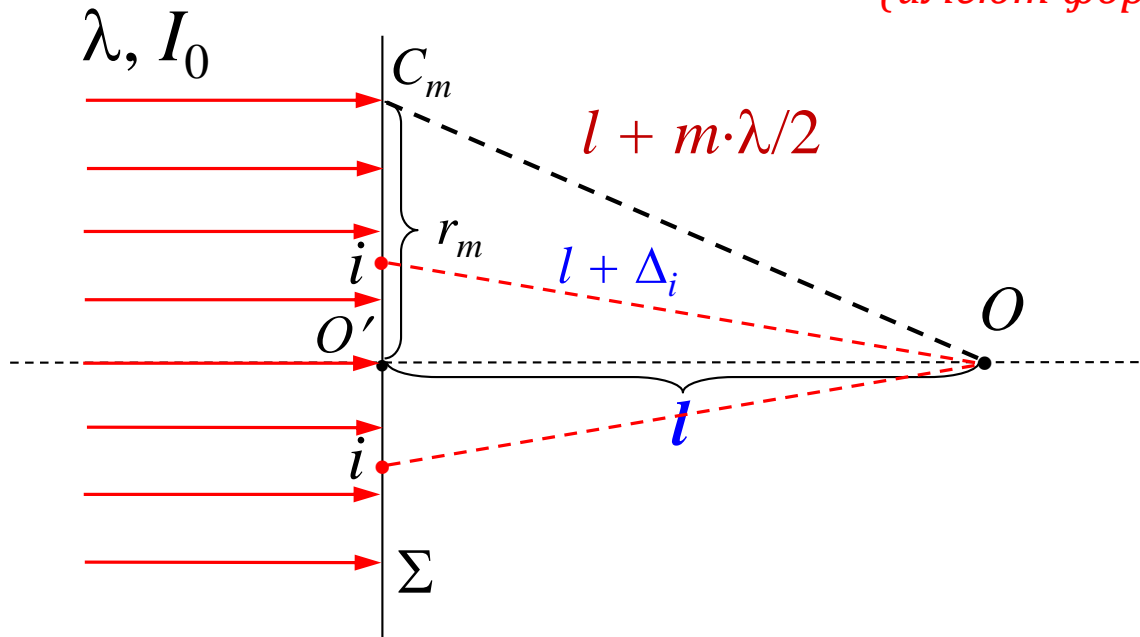


... и на щели так бывает:



2.1. Спираль Френеля

*Вторичные источники (и зоны Френеля)
(имеют форму!)*



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