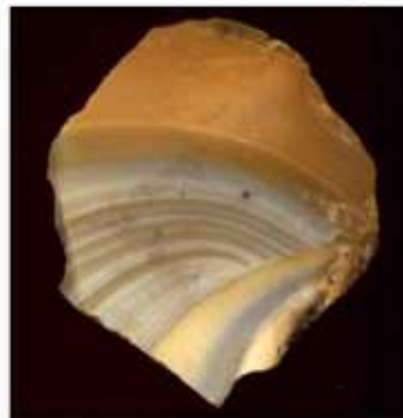


Лекция 10. Интерференция в тонких плёнках



§4. Интерференция в тонких плёнках

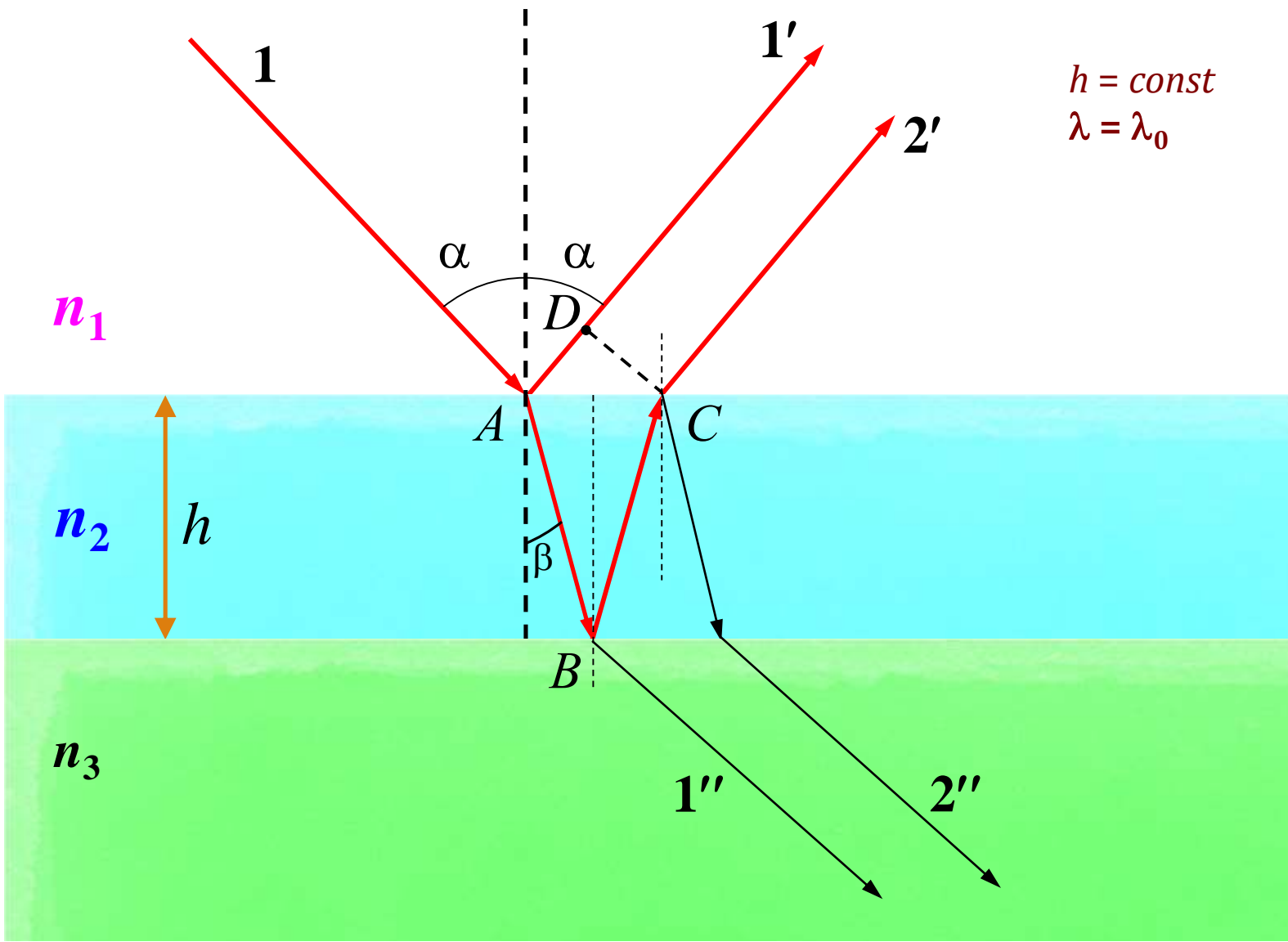
Мыльный пузырь, витая в воздухе ... зажигается всеми оттенками цветов, присущими окружающим предметам.

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



Схема Юнга – «деление волнового фронта» (другие схемы: билинза, бипризма, зеркало Ллойда, ...)

4.1. Оптическая схема. $h = const$. Условия максимумов и минимумов
(«деление светового потока»)



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:

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

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

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

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

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

нулевого порядка НЕТ!

*При нормальном падении
в отражённом свете*

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

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

***) Процедура вычисления оптической разности хода**

(для тех кто любит геометрию ... и физику ☺)

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

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

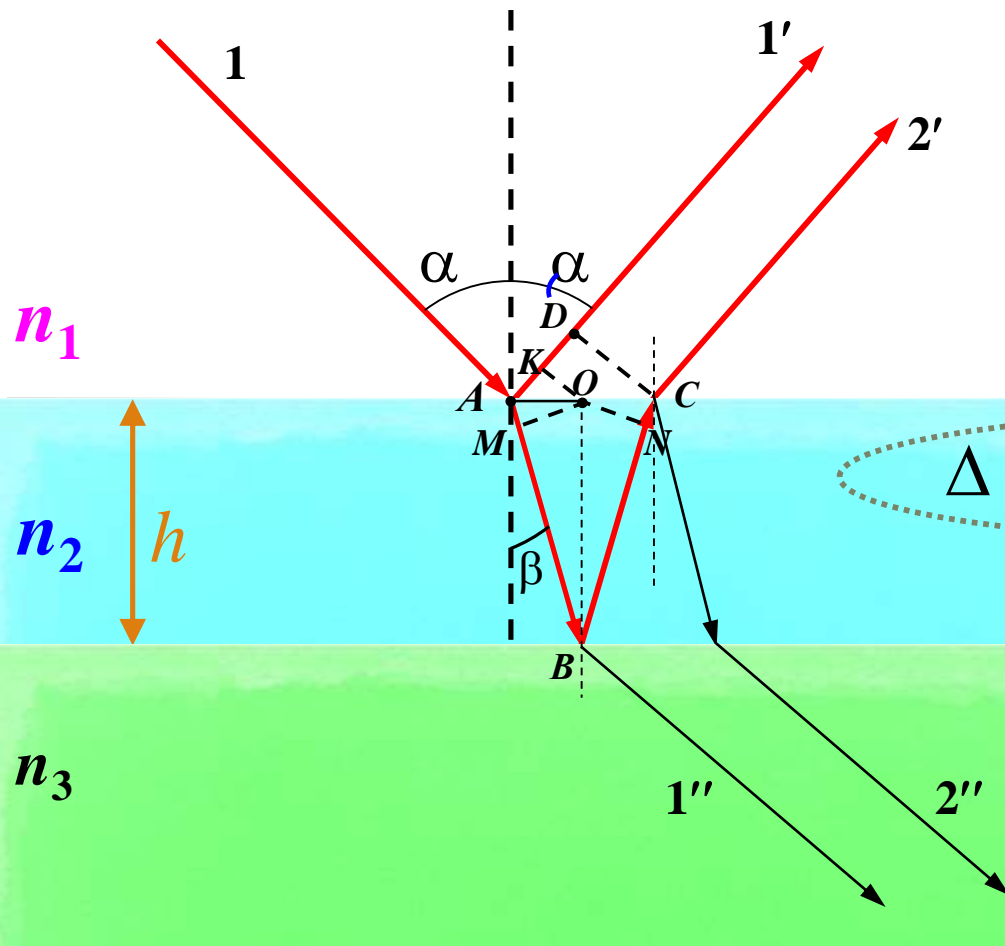
$$AM \cdot n_2 = AK \cdot n_1$$

Аналогично $NC \cdot n_2 = KD \cdot n_1$

тогда: $(AM + NC) \cdot n_2 = AD \cdot n_1$

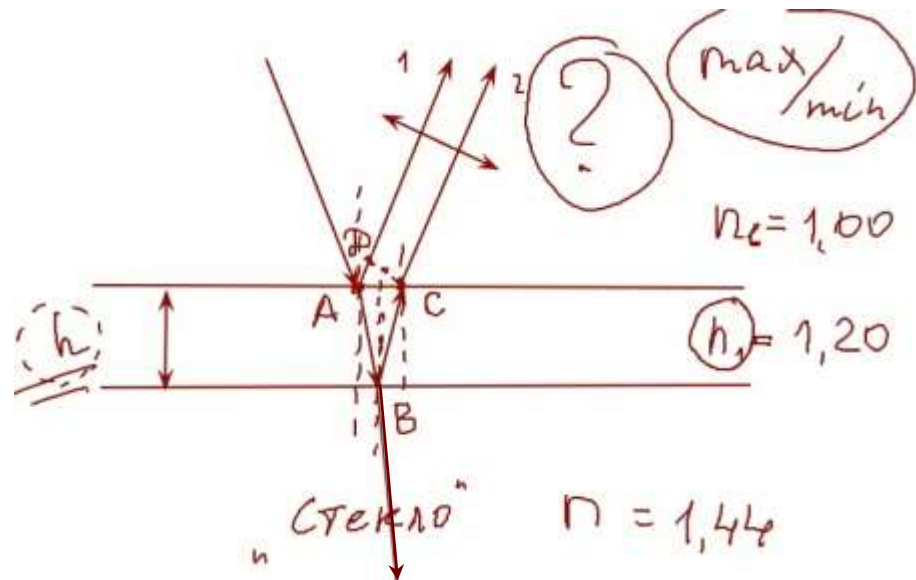


$$\Delta = 2MB \cdot n_2 = 2(h \cos \beta) \cdot n_2$$



Пример 1. "Просветление оптики" (Задача 8.10)

$n_2 = 1,2$ ($< n_3 = n_{\text{ст}} \approx 1,5$) Каковы условия "просветления"?? для $\lambda_0 = 480$ нм (синий цвет)



$$n_1 < n_2 < n_3$$

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

$$2h \cdot n_2 = \frac{\lambda_0}{2} \Rightarrow$$

$$h = 0,1 \text{ мкм} \quad (\approx \lambda_0/5)$$

4.1.2. "Другие соотношения" показателей преломления 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 ??

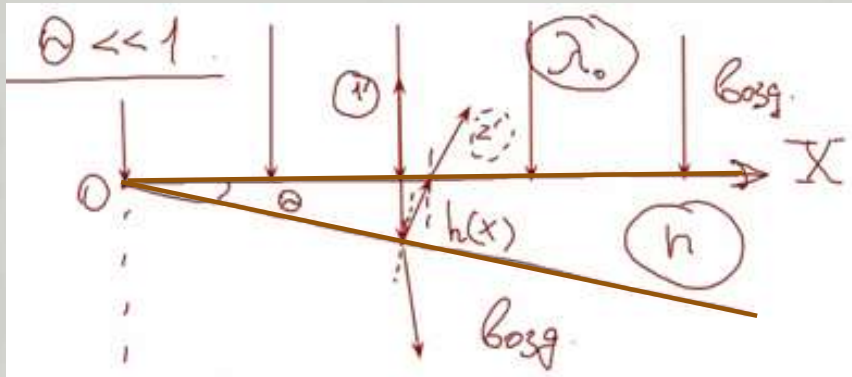


4.2. "Полосы равной толщины"

Толщины чего ??

4.2.1. «Толщина» $h = h(x)$. Например: Клиновидная пластинка – $h = k \cdot x$

(Задачи 8.11 ÷ 8.13)



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

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 ??

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

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

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

что в центре колец Ньютона ??

А почему падает видность ?

Сколько полос ?

Каков максимальный порядок ?

Чем ограничена толщина h ?

min !? Здесь $h = 0$, $\Delta = \lambda_0/2$

$$\Delta = \lambda_0, \quad m = 1 \text{ (максимум 1-го порядка)}$$
$$\delta = 2\pi$$

*) Откуда $\lambda/2$? – «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



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

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

$$\mathcal{A}(x) = 2A \cos(kx + \varphi/2)$$

Амплитуда стоячей волны !!

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

волна отражённая

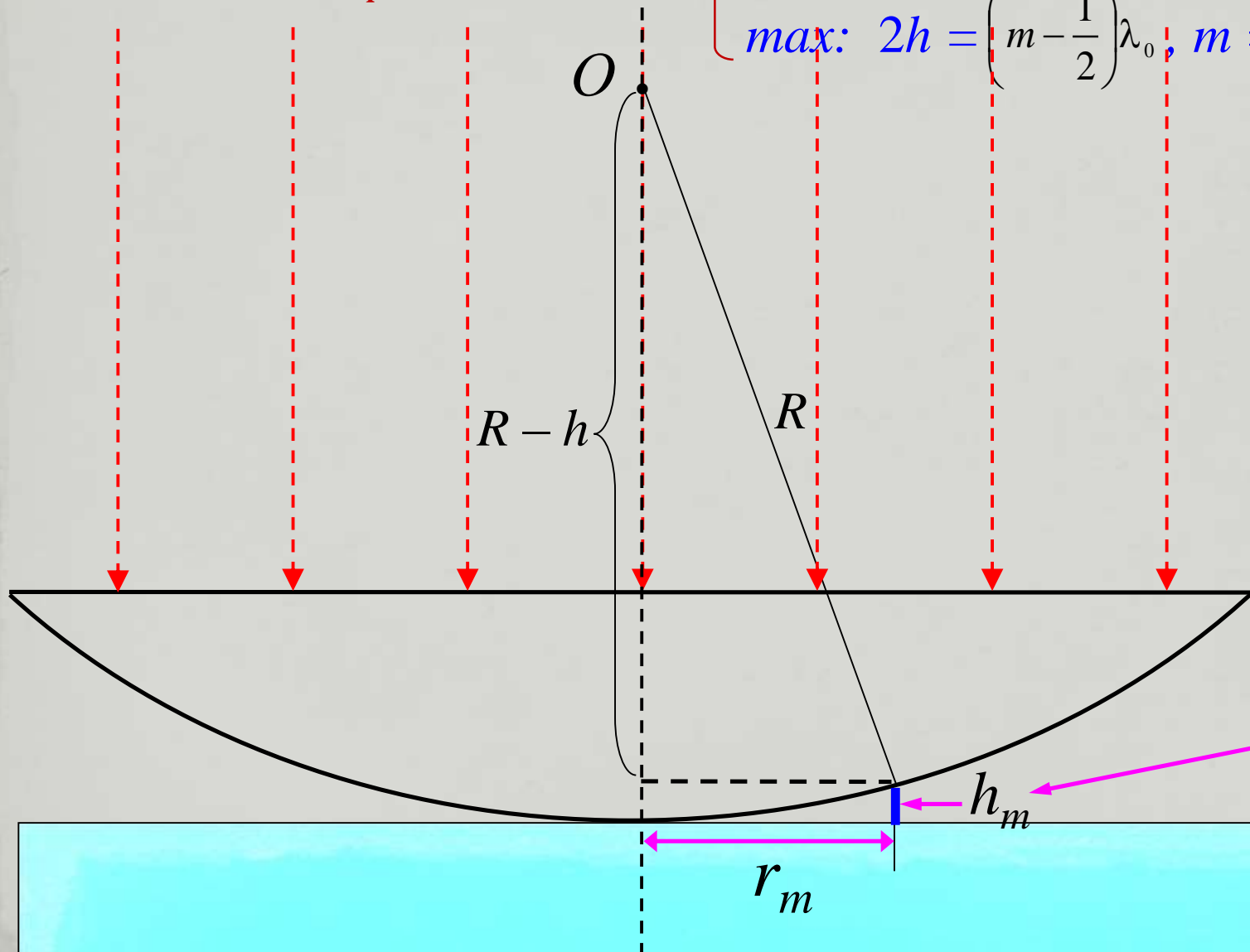
В точке отражения ($x = 0$) должен быть «узел», т.е. амплитуда = 0

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

4.2.2. Другой пример: “Кольца Ньютона” – и это тоже полосы равной толщины !

В отражённом свете:

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



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

1. В «проходящем свете» $\max \leftrightarrow \min$; Замечания к § 4

2. До сих пор обсуждали случай: $\lambda = \lambda_0$ – монохроматический свет.

А если использовать “белый свет” ?

$h = h(x)$, \rightarrow максимумы для разных λ_0 в разных местах!

\rightarrow «Цвета тонких плёнок»

(клин, линза, мыльный пузырь, крылья бабочек, ...)

Пример. Плёнка масла на луже:

$$n_{\text{возд}} < n_m \approx 1,5 > n_{\text{воды}} \approx 1,33 \quad \Rightarrow \quad \Delta = \dots$$

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 $(n_{\text{вода}} \approx 1,33)$

$\alpha \ll 1$

$h = 0,1 \text{ мкм}$

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

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

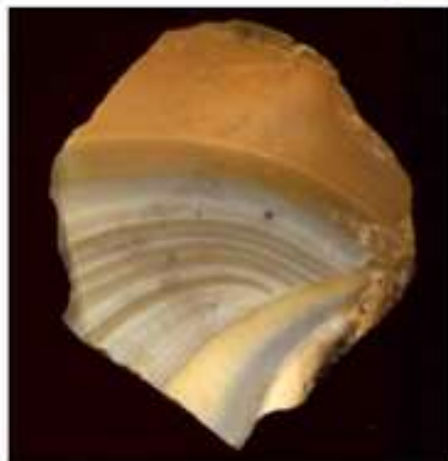
$\lambda_0^{(\text{max})} = 4h \cdot n_m = 4 \cdot 0,1 \text{ мкм} \cdot 1,5 = 0,6 \text{ мкм}$

почти “красный свет” (600 нм)

$h \approx 0,07 \text{ мкм}$

$0,07 \text{ мкм} \leq h \leq 0,12 \text{ мкм}$ – вся радуга !

фиолетовый?



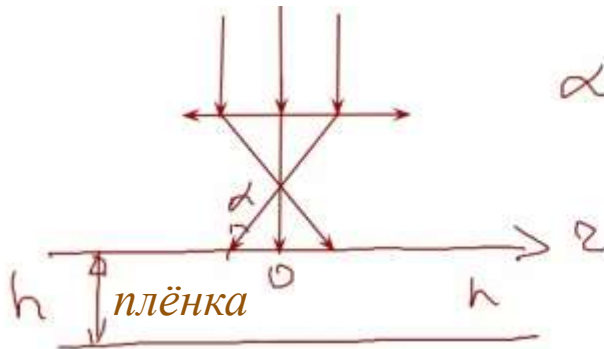
Ещё замечание:

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

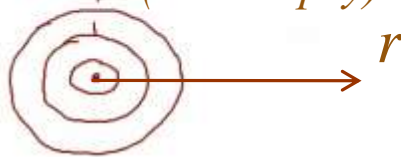
А если $h = \text{const}$, но α разные ?

\Rightarrow для каждого значения α свой max \Rightarrow
“полосы равного наклона”:

?



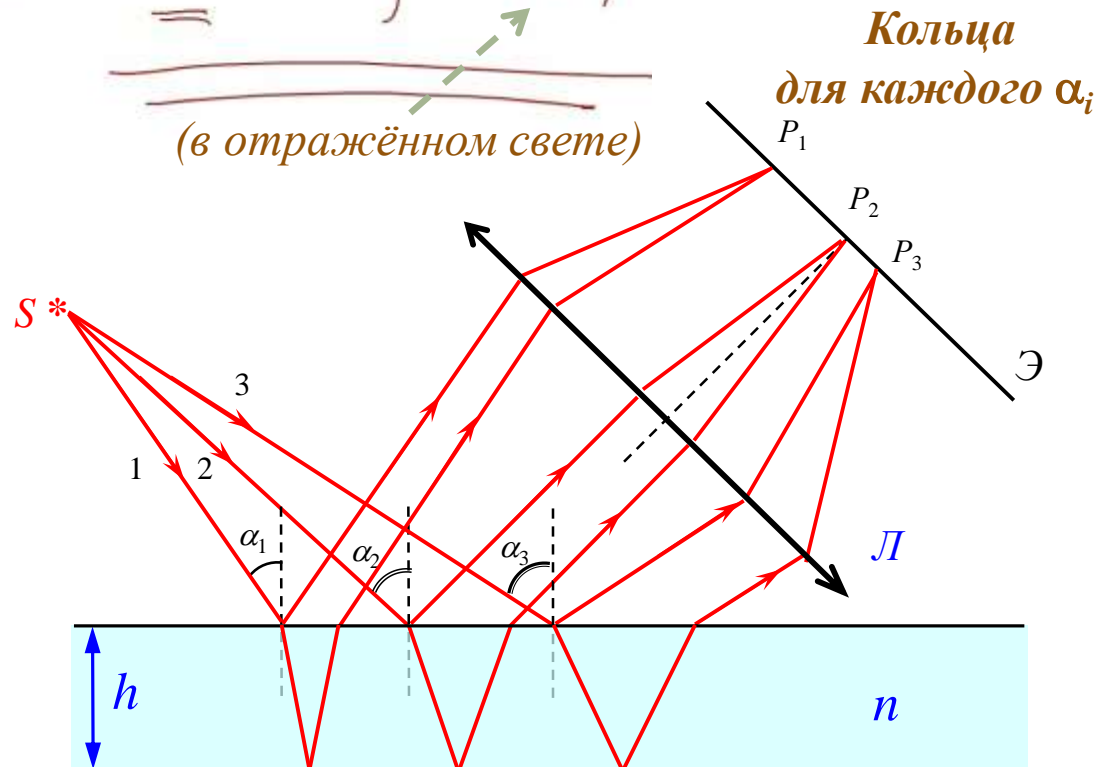
Кольца
для каждого α_i
(вид сверху)



$$\alpha = \alpha(z)$$

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

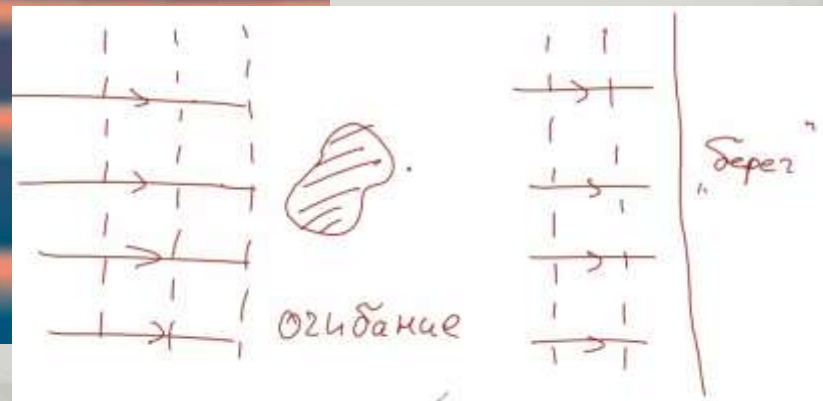
(в отражённом свете)



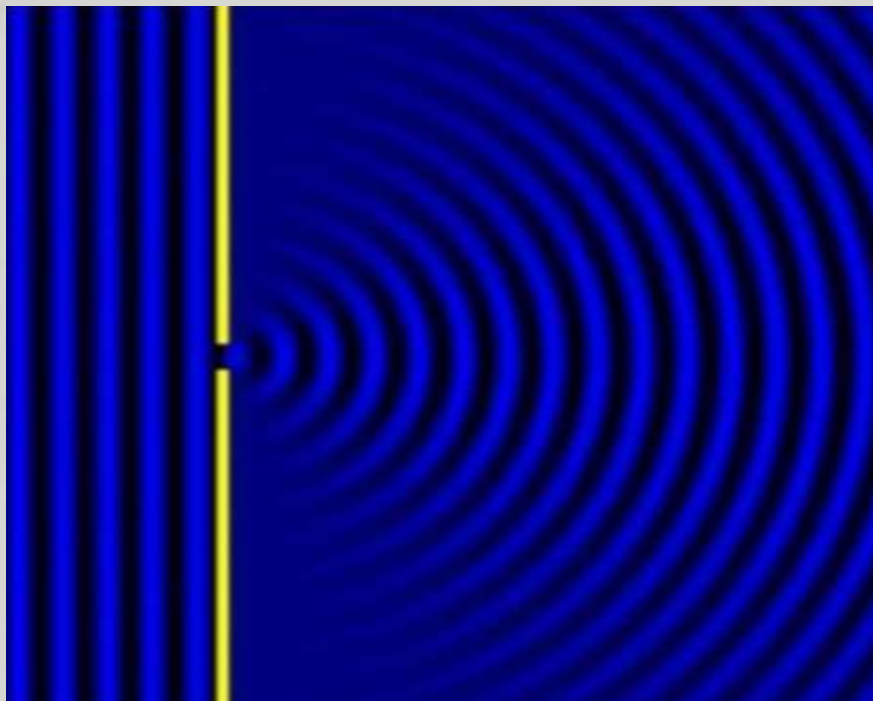
Глава V. Дифракция света

§ 1. Понятие о дифракции

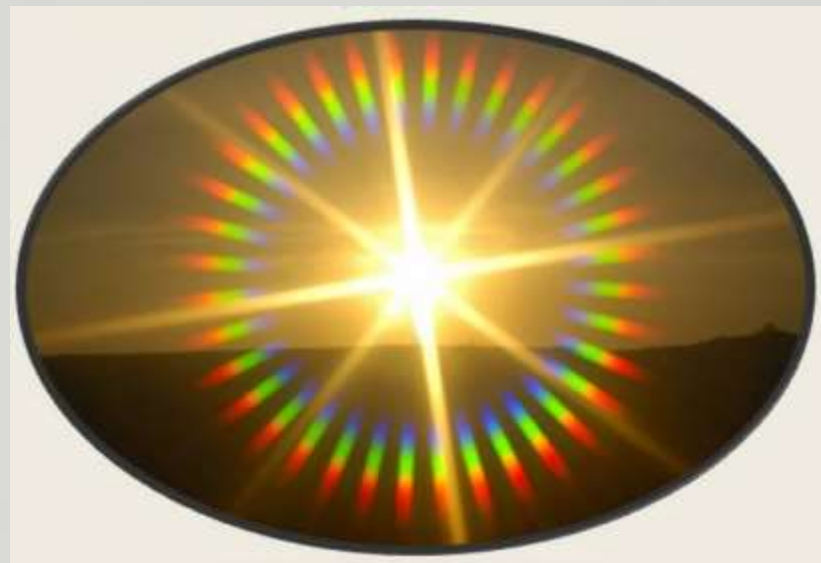
1.1. Огибание препятствий



1.2. Постановка задачи. Принцип Гюйгенса-Френеля



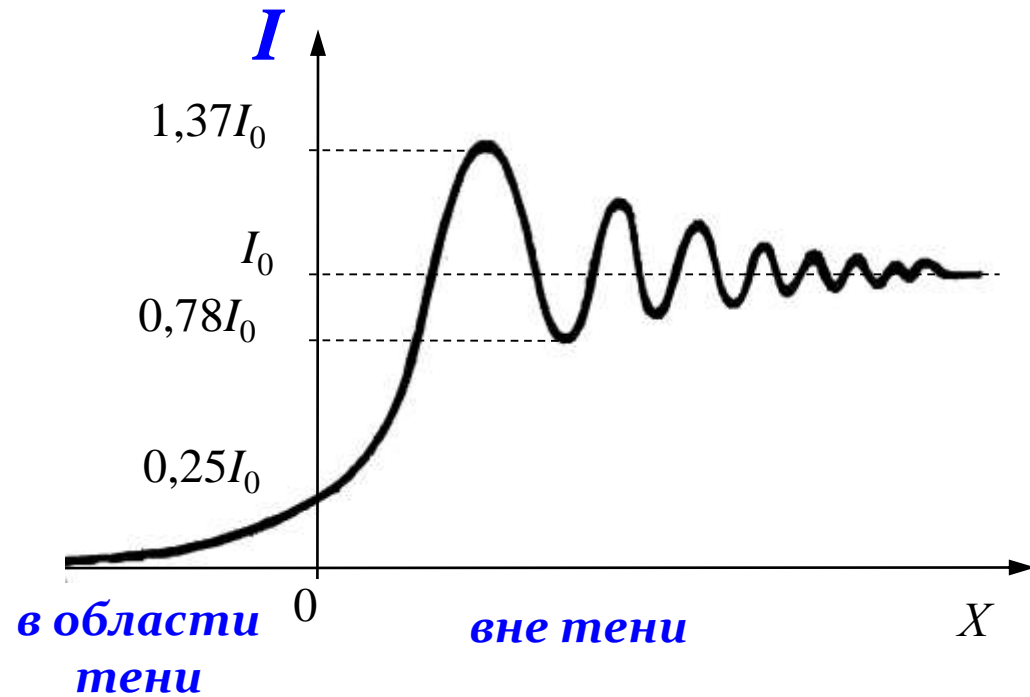
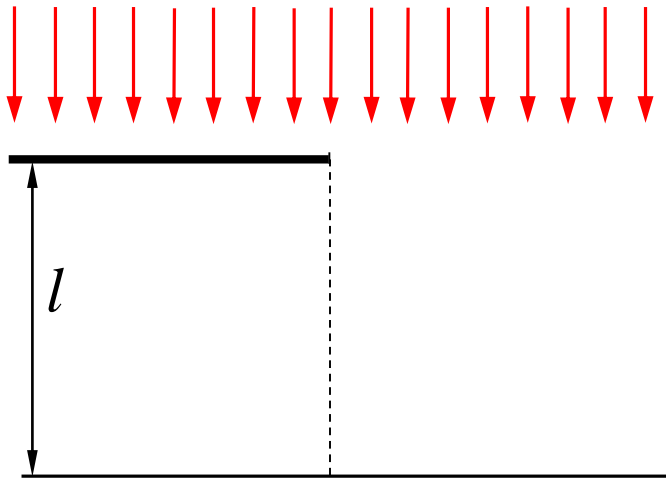
Дифракция света



- ➡ 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

