

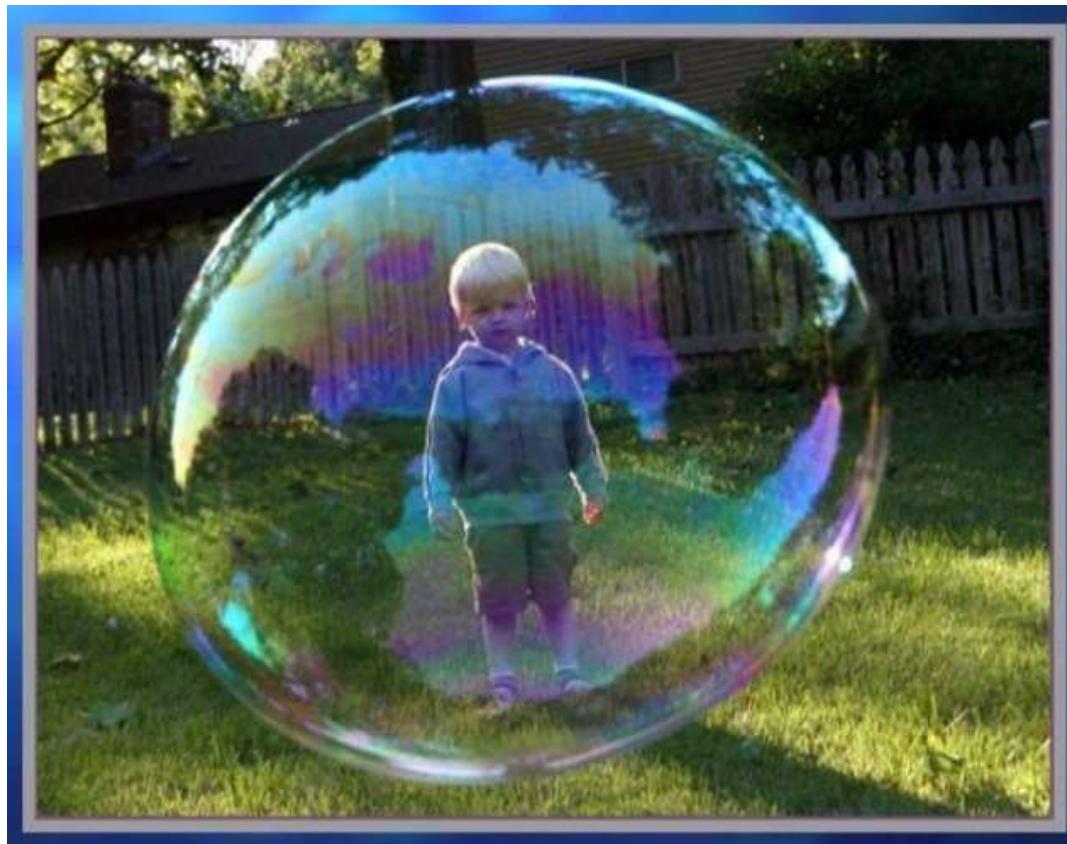
# Лекция 10. Интерференция в тонких плёнках



## §4. Интерференция в тонких плёнках

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

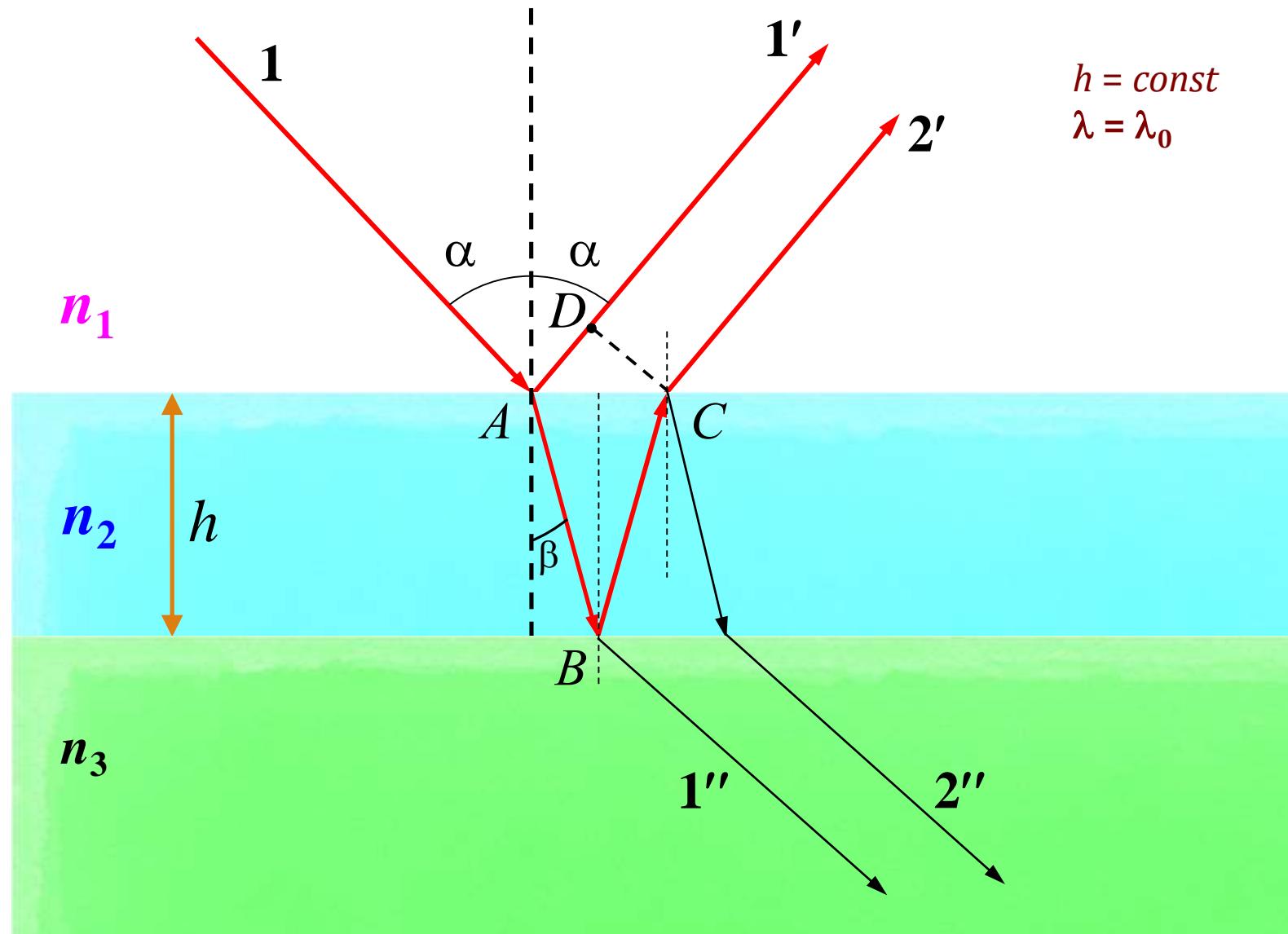
*Мыльный пузырь, пожалуй, самое изысканное чудо природы*  
Марк Твен



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

## 4.1. Оптическая схема. $h = \text{const}$ . Условия максимумов и минимумов

(«деление светового потока»)



## Наблюдение в отражённом свете:

$$\Delta r = (AB + BC) - AD \quad \leftarrow \quad \begin{array}{l} \text{геометрическая р.х.} \\ \text{путь волны «2»} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{оптическая р.х.} - \Delta \\ \text{путь волны «1»} \end{array} \quad ??$$

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

## В отражённом свете:

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

$$= 2h \cdot n_2 \cdot \cos \beta$$

*max:*  $2h \cdot n_2 \cdot \cos \beta = m\lambda_0$ , =====

*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

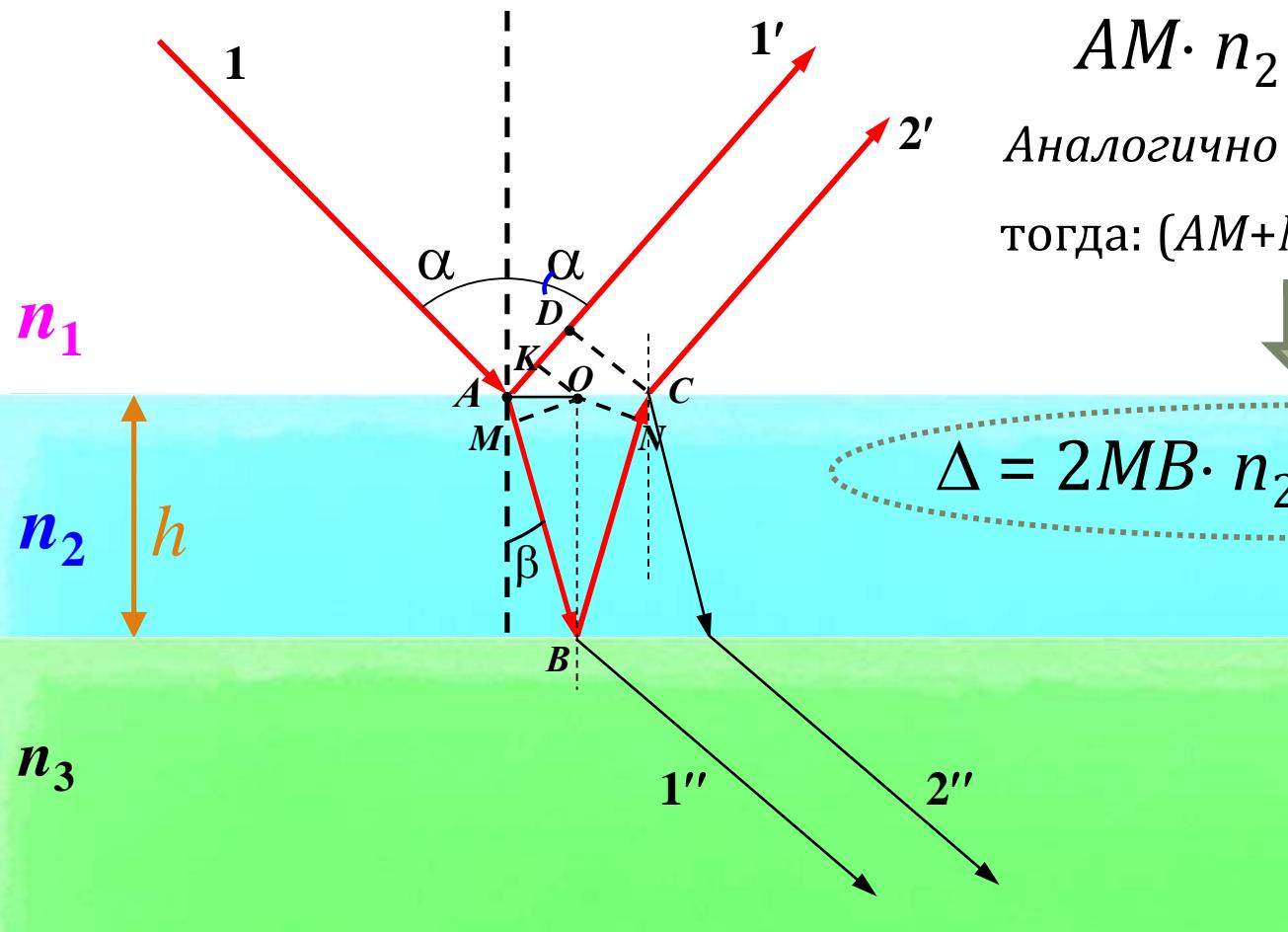
$$\begin{array}{ll} \max: & 2h \cdot n_2 = m\lambda_0, \\ \min: & 2h \cdot n_2 = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda_0 \end{array}$$

## \*<sup>\*)</sup> Процедура вычисления оптической разности хода

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

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

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



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

$$\text{Аналогично } NC \cdot n_2 = KD \cdot n_1$$

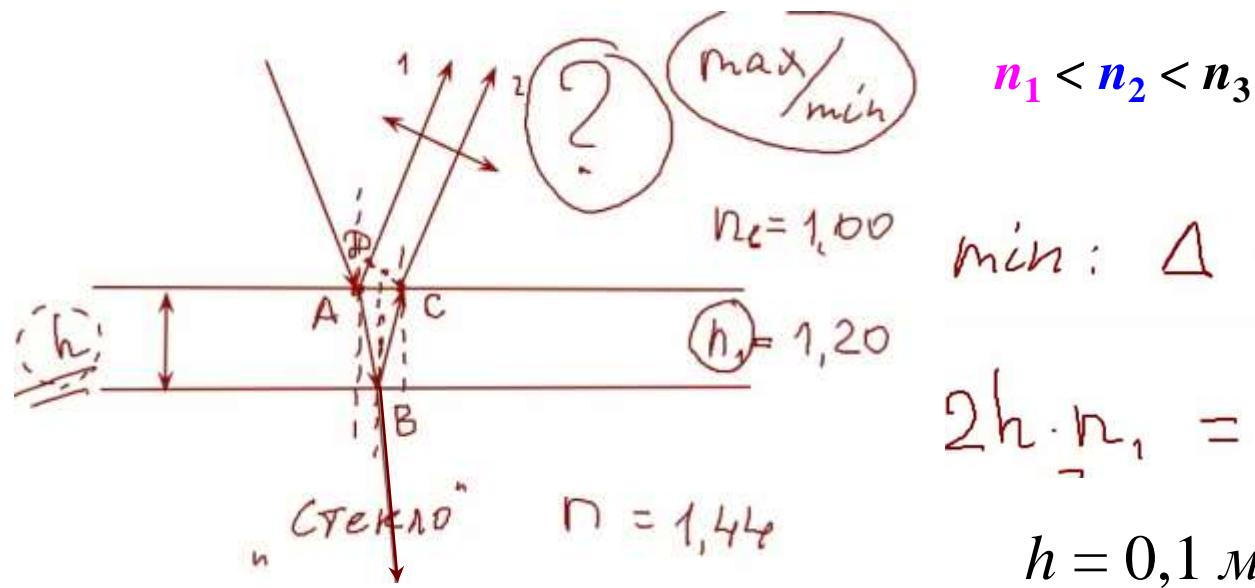
$$\text{тогда: } (AM + NC) \cdot n_2 = AD \cdot n_1$$



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

## Пример 1. “Просветление оптики” (Задача 8.10)

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



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

$$2h \cdot n_1 = \frac{\lambda_0}{2} \Rightarrow$$

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

### 4.1.2. “Другие соотношения” показателей преломления $n_1$ ? $n_2$ ? $n_3$

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

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

При расчёте  $\Delta$  надо учесть **ещё один фактор** ...

Какой ??

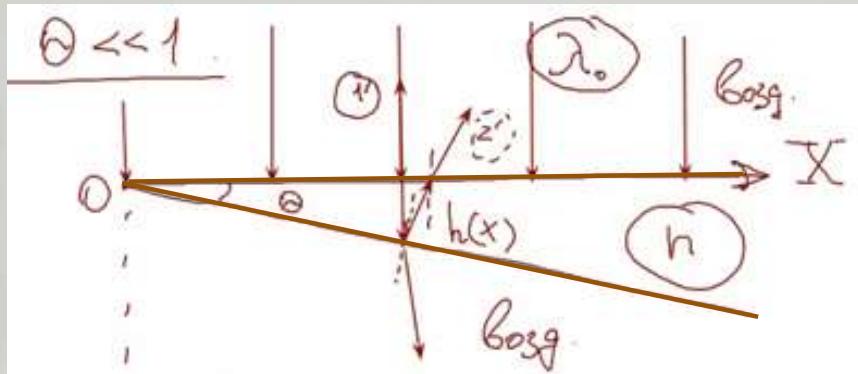


## 4.2. “Полосы равной толщины”

## 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  $\Delta$  надо учесть ещё один фактор:

!! При отражении от оптически более плотной среды фаза меняется на  $\pi$

Оптический путь увеличивается на  $\lambda/2$

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

## *А что у вершины ? ?*

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

$$\max : \quad 2 \times D \cdot n = \left( m - \frac{1}{2} \right) \lambda_0$$

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

*что в центре колец Ньютона??*

## *А почему падает видность?*

## *Сколько полос ?*

## Каков максимальный порядок?

*Чем ограничена толщина  $h$ ?*

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

$$\delta = 2\pi$$

\*) Откуда  $\lambda/2$  ? – «Переворот фазы» при отражении

При отражении от оптически более плотной среды  
фаза волны меняется на  $\pi$

??

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

волна падающая

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

волна отражённая

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

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

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

Амплитуда стоячей волны !!

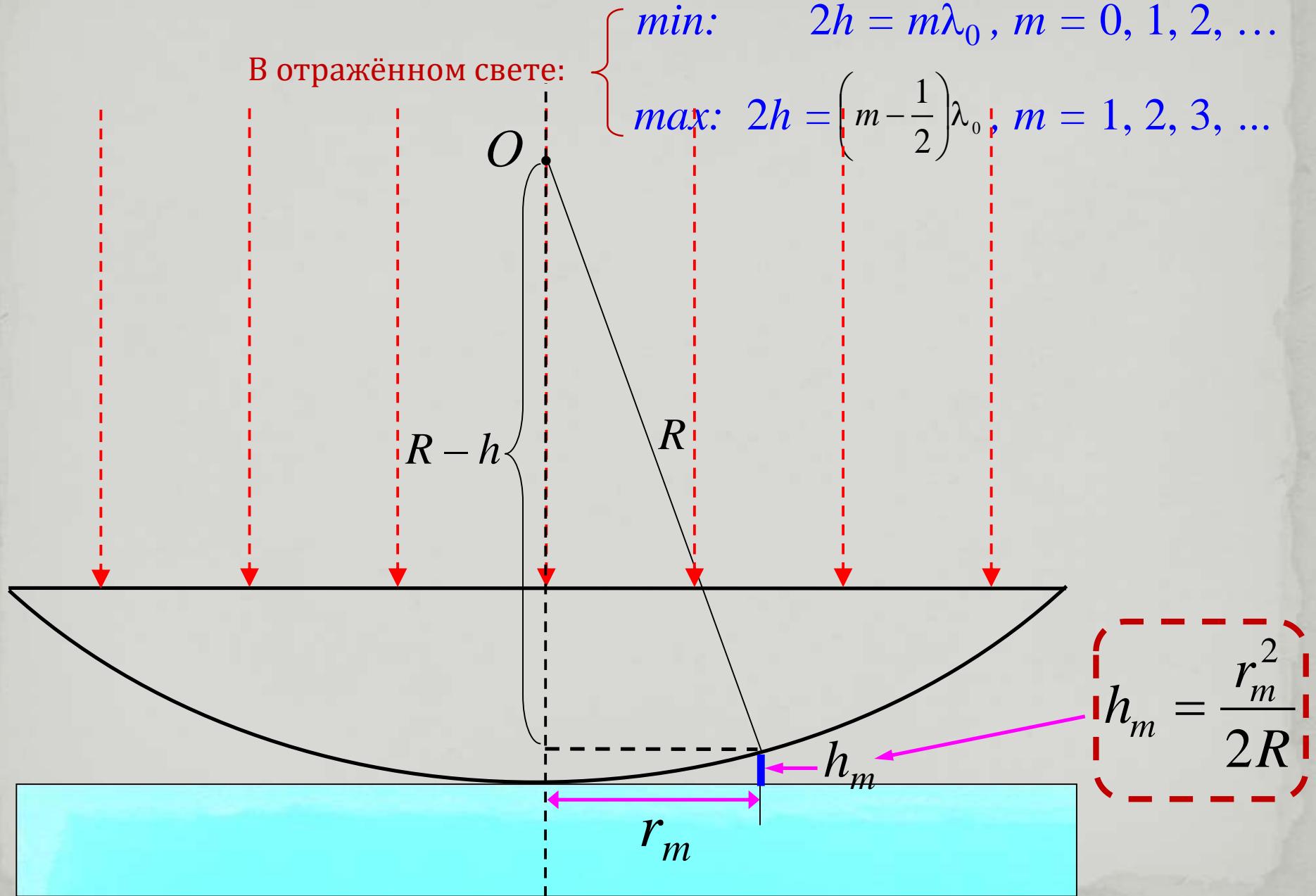
В точке отражения ( $x = 0$ ) должен быть «узел», т.е. амплитуда = 0

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

$$\varphi = \pm \pi$$

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

В отражённом свете:



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”?

$h = h(x)$ , → максимумы для разных  $\lambda_0$  в разных местах!  
→ «Цвета тонких плёнок»

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

Пример. Плёнка масла на луже:

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

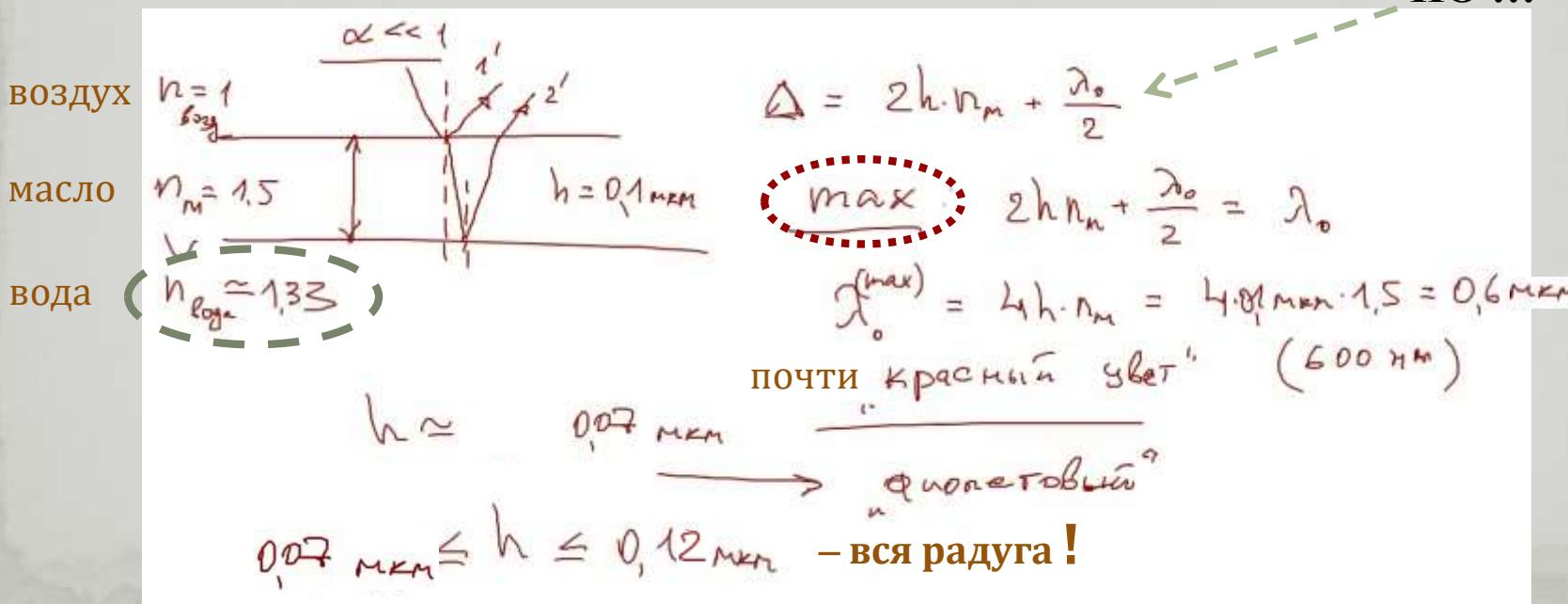
Какого цвета плёнка с  $h = 0,1 \text{ мкм}$ ?

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 ...



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

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

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

почти “красный свет” (600 нм)

→ “Фиолетовый?”

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



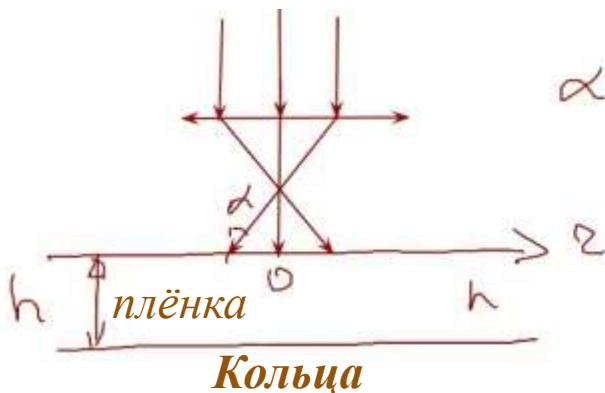
## Ещё замечание:

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

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

⇒ для каждого значения  $\alpha$  свой  $\text{tanh}$  ⇒

“полосы равного наклона”:



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

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

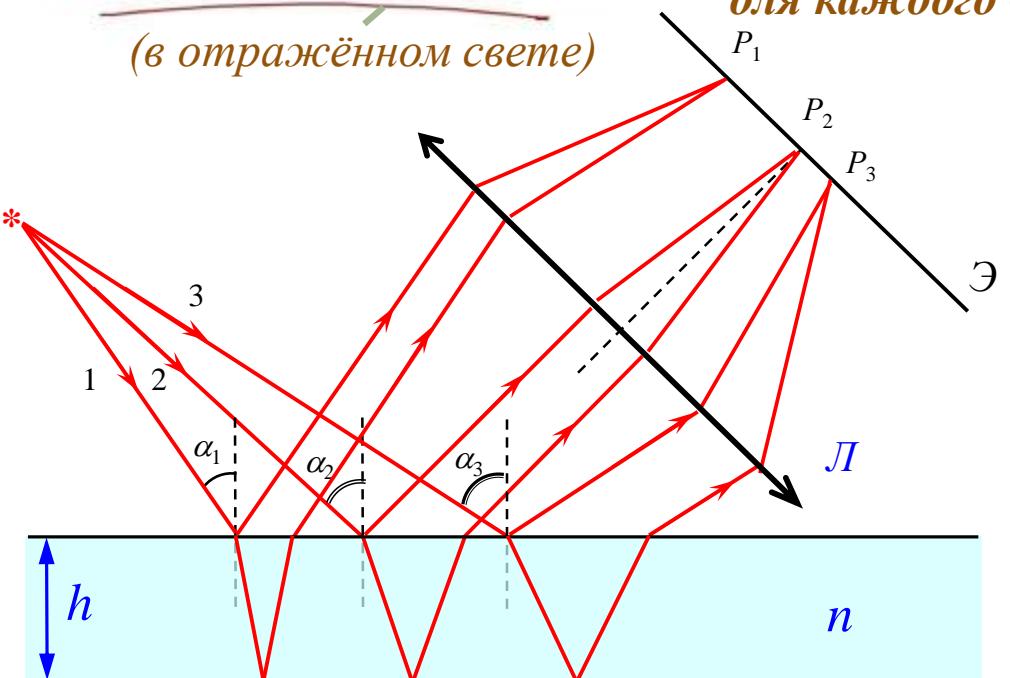
?

(в отражённом свете)

Кольца

для каждого  $\alpha_i$

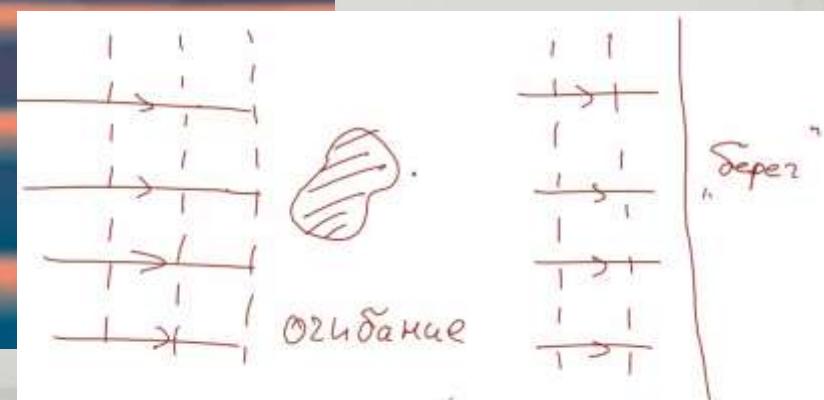
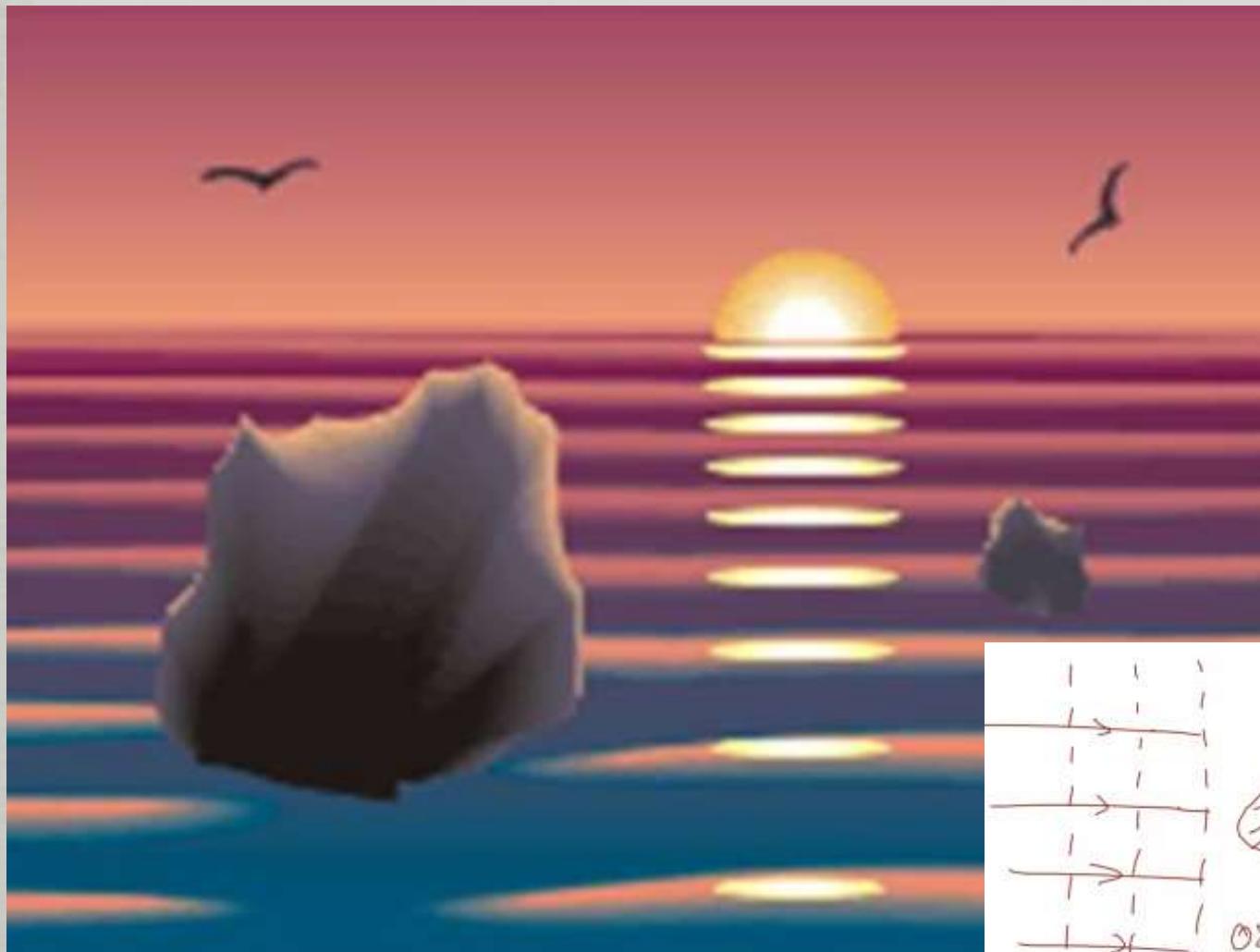
для каждого  $\alpha_i$   
(вид сверху)



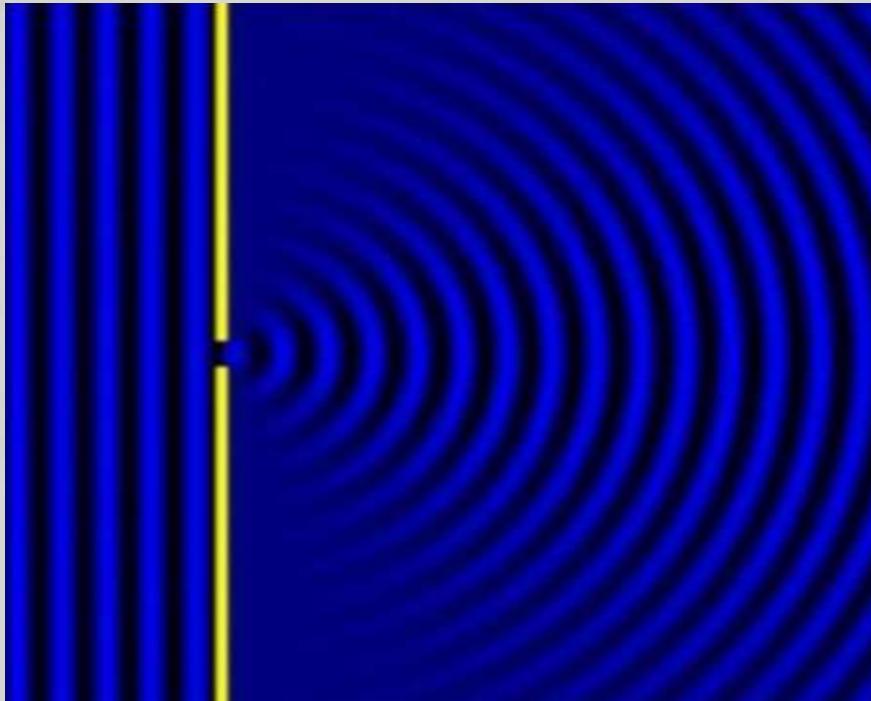
# Глава V. Дифракция света

## § 1. Понятие о дифракции

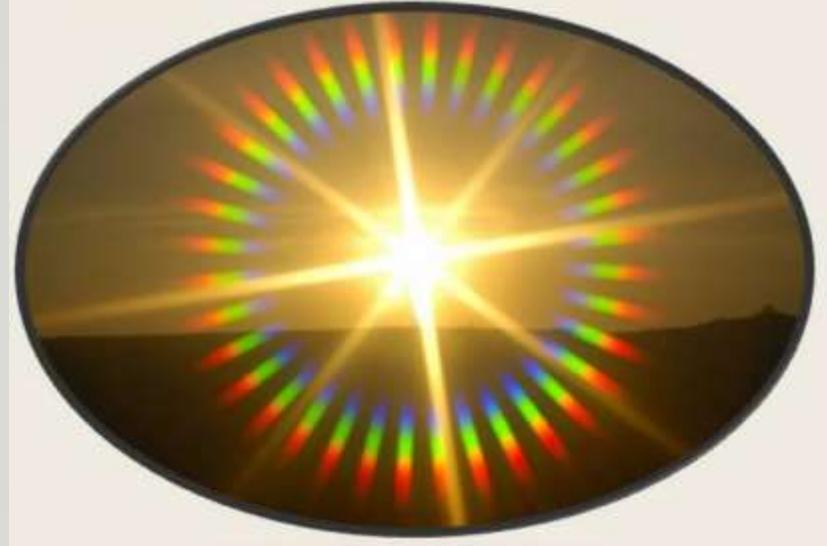
### 1.1. Огибание препятствий



## 1.2. Постановка задачи. Принцип Гюйгенса-Френеля



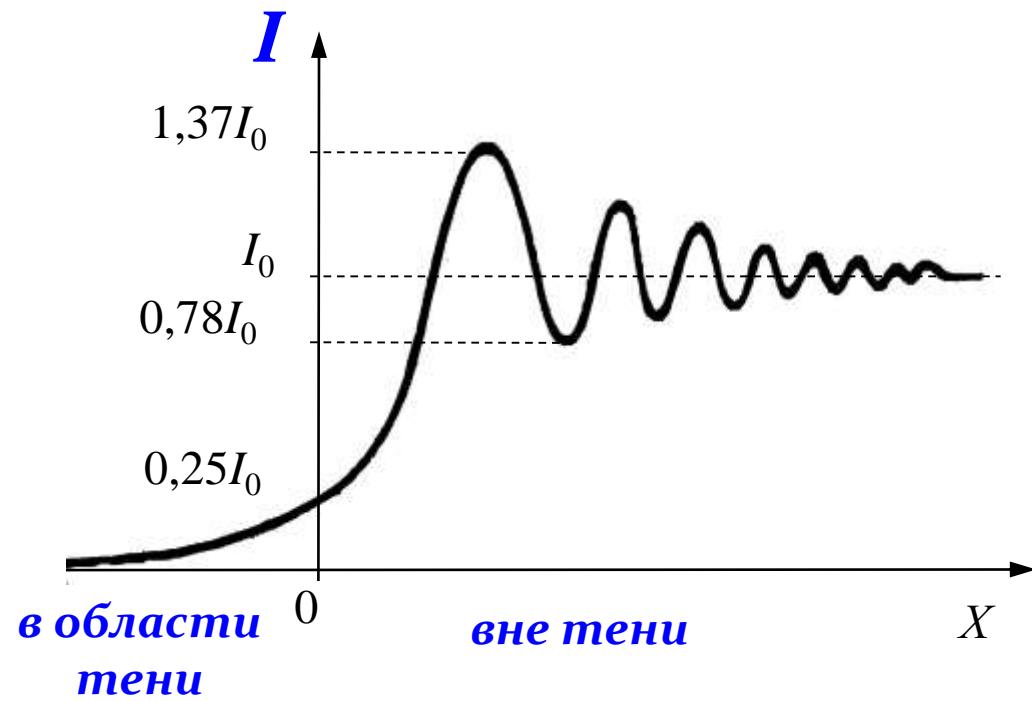
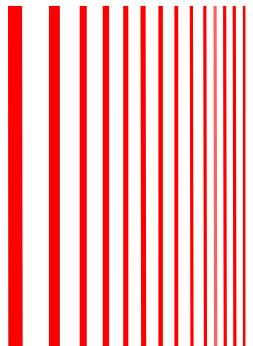
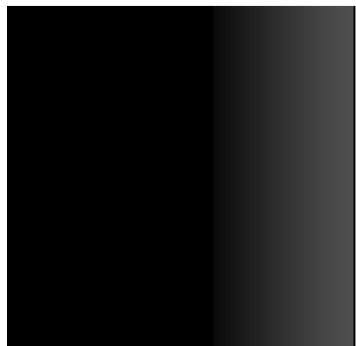
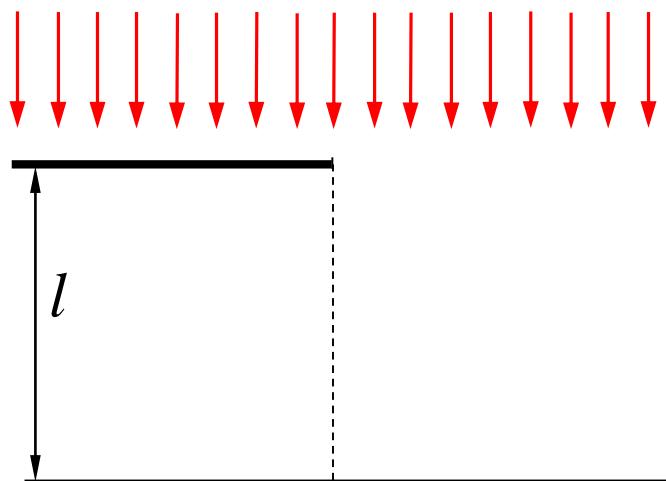
*Дифракция света*



- *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*

