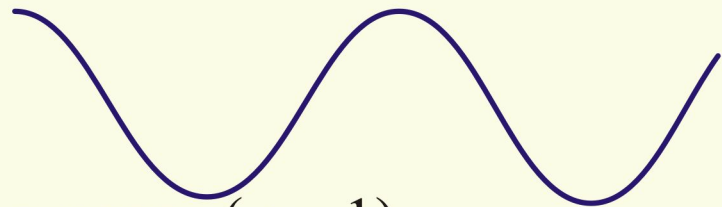


Лекция №2

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

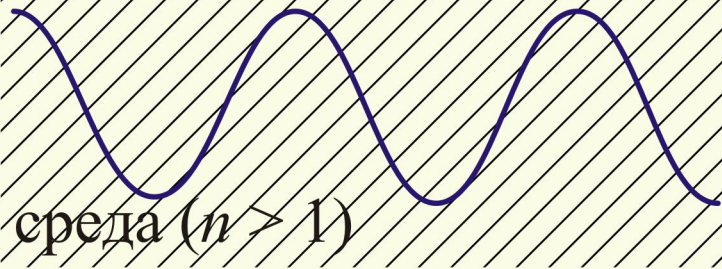
§§ Оптический путь



вакуум ($n = 1$)

$$\xi = A \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda_0} x + \varphi_0\right)$$

x – геометрический путь



среда ($n > 1$)

$$\xi = A \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda_0} nx + \varphi_0\right)$$

Произведение показателя преломления на длину пути называется оптической длиной пути:

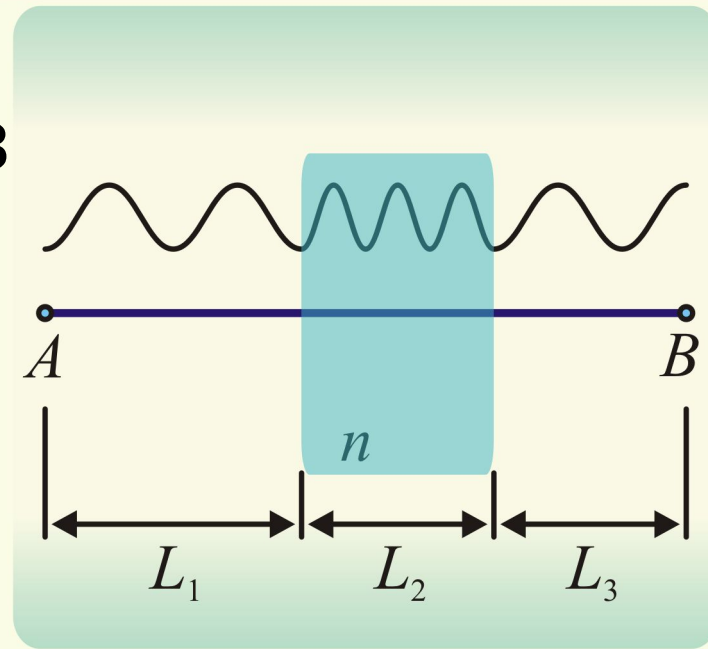
$$L_{\text{opt}} = nx \text{ – } \underline{\text{оптический путь}}$$

Пример 1:

прохождение света через прозрачную пластинку

$$L_{\text{geom}} = L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_{\text{opt}}(AB) = L_1 + nL_2 + L_3$$



Пример 2: Оптическая разность хода двух волн

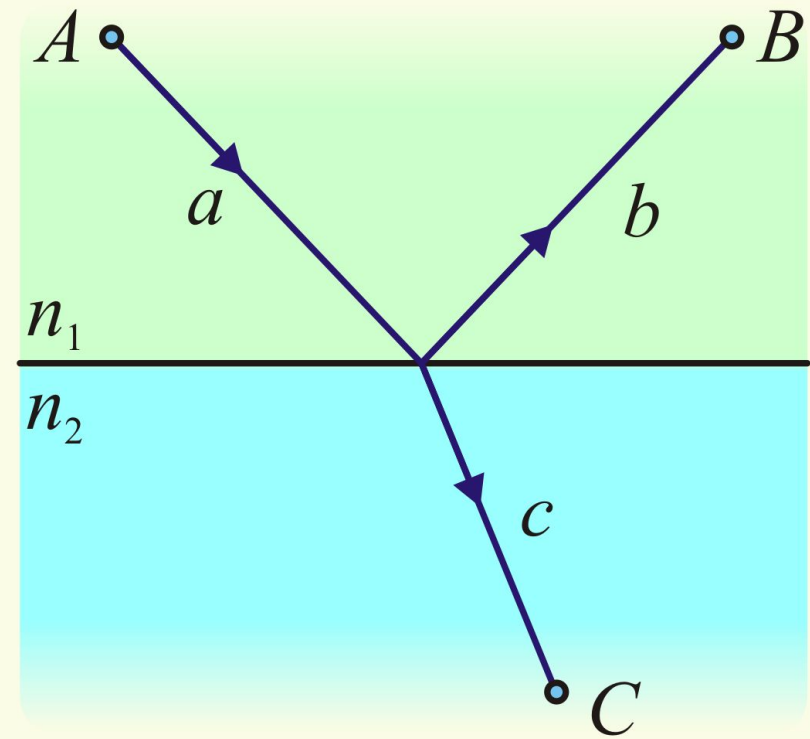
Если первая волна прошла путь L_1 в среде с n_1 , а вторая – путь L_2 в среде с n_2

то $\Delta L_{\text{opt}} = n_2 L_2 - n_1 L_1$ и $\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta L_{\text{opt}}$

Пример 3:

Отражение от границы раздела двух сред

$$L_{\text{opt}}(AC) = n_1 a + n_2 c$$

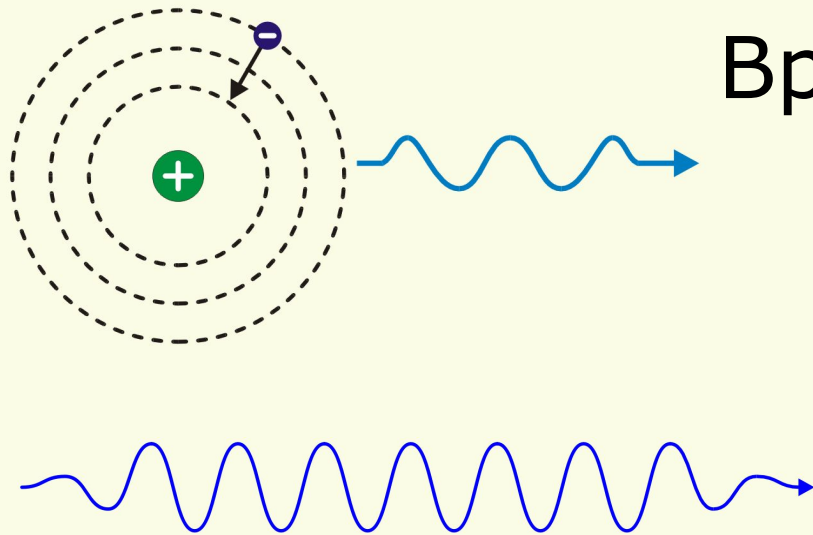


$$L_{\text{opt}}(AB) = n_1 a + n_1 b + \begin{cases} \pm \lambda/2, & n_2 > n_1 \\ 0, & n_2 \leq n_1 \end{cases}$$

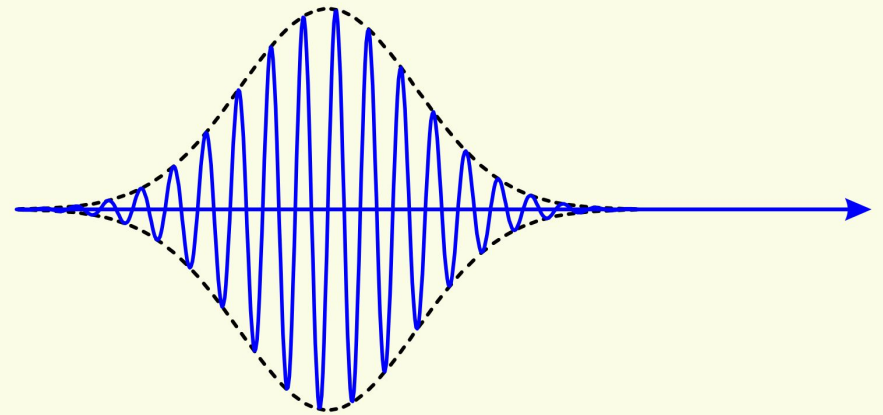
т.е. возникает **дополнительный набег фазы** при отражении от оптически более плотной среды

§§ Когерентность

Испускание света – результат атомных процессов (переходы, удары, ядерные и химические превращения)



Время перехода $\tau \sim 10^{-8}$ с

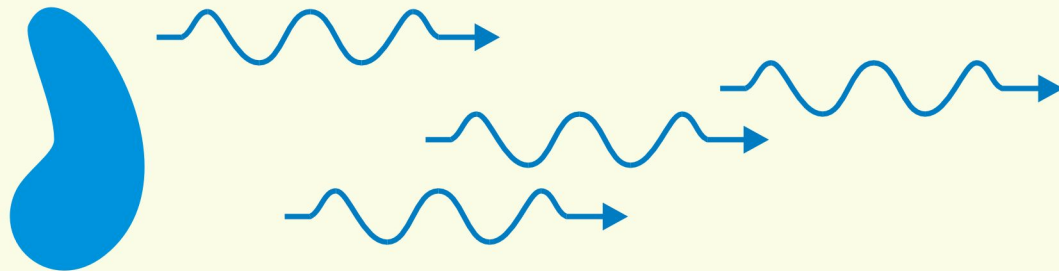


атом излучает набор колебаний –

ЦУГ ВОЛН длиной $L = \tau c \sim 3$ м

Излучение отдельного атома – **немонохроматично**, а излучение разных атомов – **некогерентно**.

Свет от источника состоит из быстро сменяющих друг друга цугов со случайным значением начальной фазы.



Если в одну точку приходит свет от разных источников (или частей одного тела), то результат различается в каждый момент времени.

Временем когерентности называют промежуток времени, в течение которого случайное изменение фазы (или разности фаз) достигает π .

Если время разрешения прибора больше ***времени когерентности*** или разность хода больше ***длины когерентности***, то регистрируются значения согласно **закону сложения интенсивностей**.

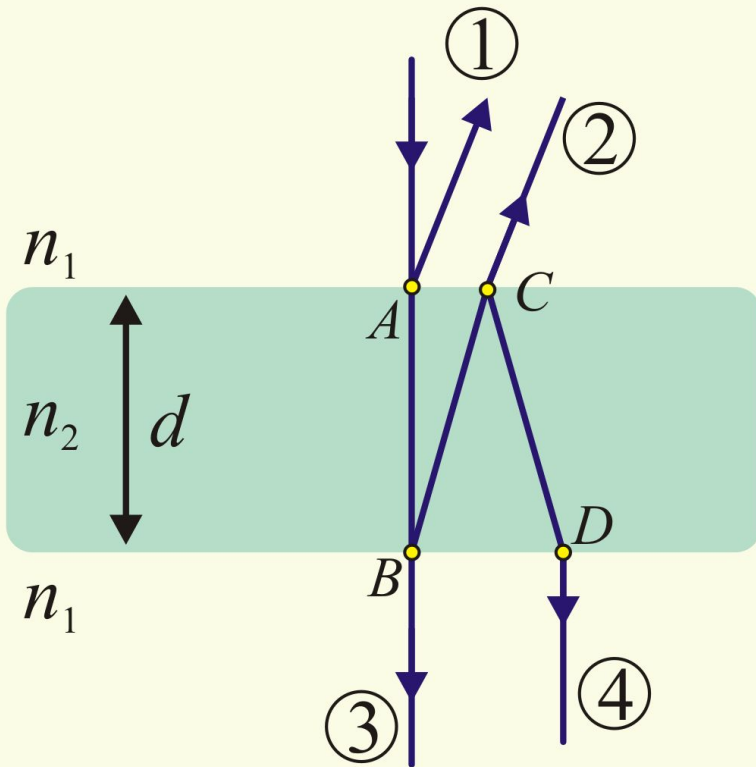
Устойчивая интерференционная картина наблюдается только для **когерентных** (согласованных) колебаний.

Для получения двух потоков когерентного излучения необходимо использовать излучение одного атома или группы атомов, излучающих согласованно.

Для этого, с помощью отражения или преломления, нужно разделить волну и позволить потокам, прошедшим разное расстояние, встретиться.

Разность пройденных расстояний не должна превышать длины цуга или длины когерентности.

§§ Интерференция в пленках



Найдем разность хода двух отраженных волн:

$$\begin{aligned}\Delta L_{\text{opt}}(12) &= n_2(ABC) \pm \frac{\lambda}{2} \\ &= 2n_2d \pm \frac{\lambda}{2}\end{aligned}$$

для проходящих волн

$$\Delta L_{\text{opt}}(34) = 2n_2d$$

Разности хода отличаются на $\lambda/2$

Следовательно, максимум на отражение соответствует минимуму на пропускание

$$\Delta L_{\text{opt}} (12) = 2m \frac{\lambda}{2}$$

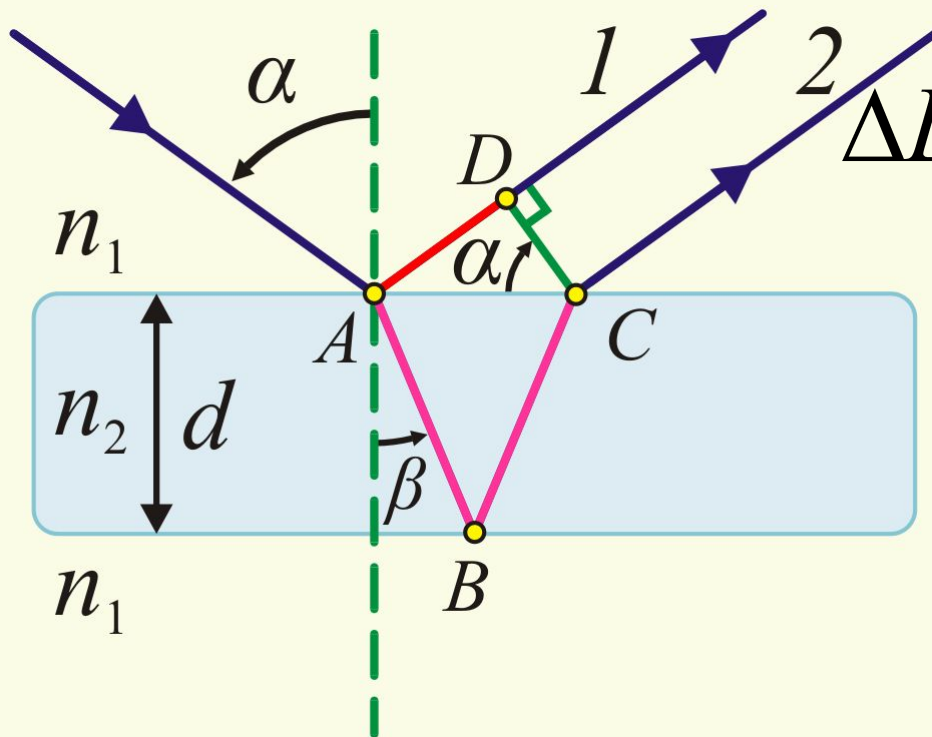
Максимум при пропускании будет наблюдаться, если

$$\Delta L_{\text{opt}} (34) = 2m \frac{\lambda}{2}$$

и соответствующая толщина пленки:

$$d_m = \frac{m\lambda}{2n_2}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$$

Рассмотрим случай наклонного падения



$$\Delta L_{\text{opt}} (12) = n_2 (ABC) -$$

$$-n_1 (AD) \pm \frac{\lambda}{2}$$

из-за отражения
в т.А ($n_2 > n_1$)

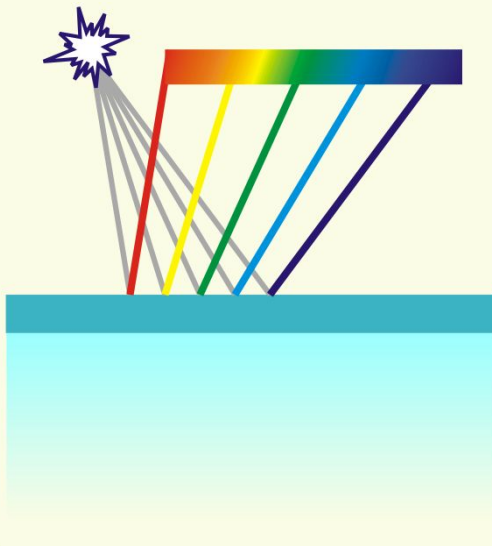
$$AB = \frac{d}{\cos \beta}, AC = 2 AB \sin \beta = \frac{2d \sin \beta}{\cos \beta}$$

$$AD = AC \sin \alpha$$

$$\Delta L_{\text{opt}}(12) = 2d n_2 \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2}$$

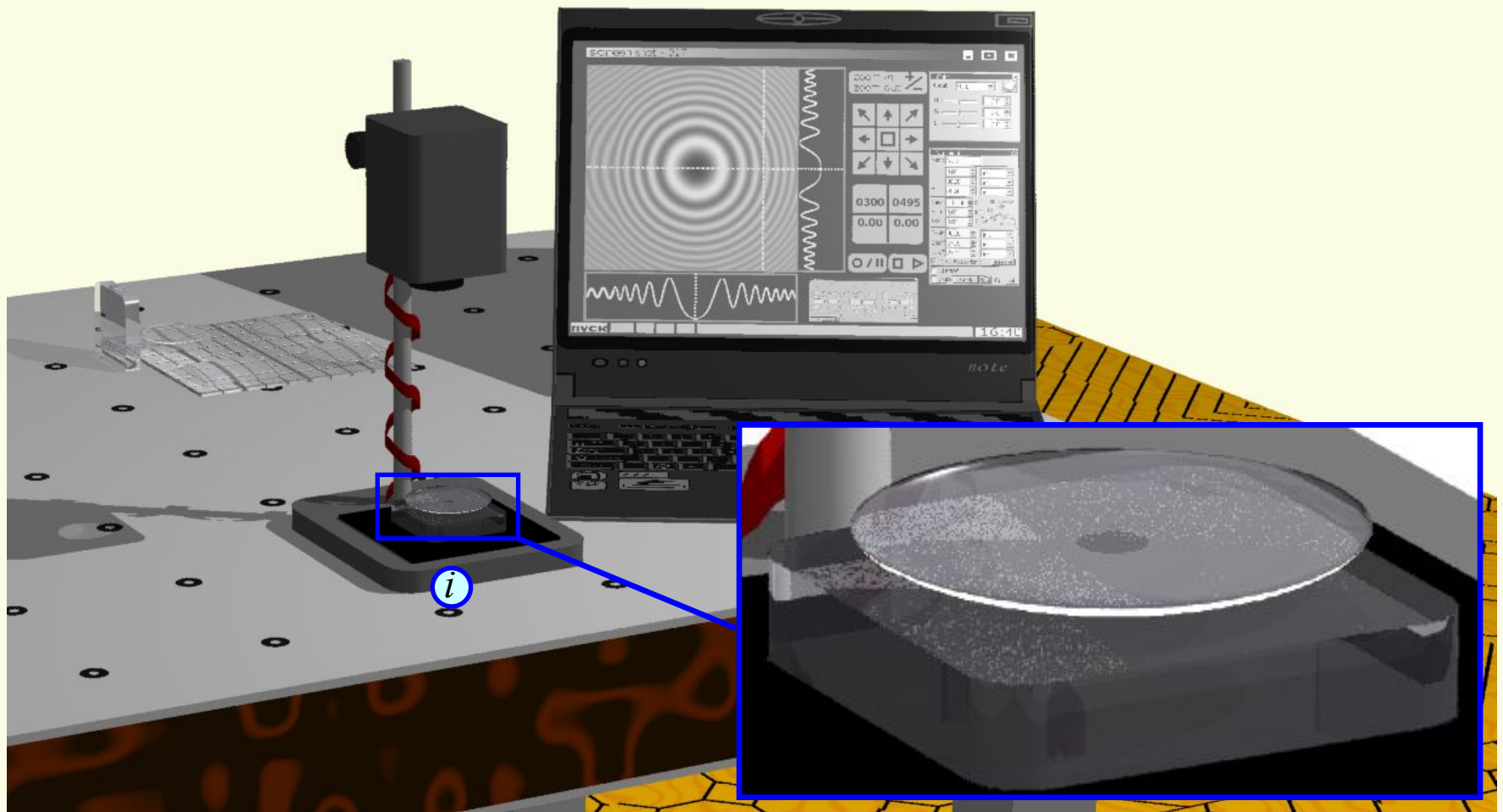
$$\Delta L_{\text{opt}}(12) = 2d \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha} \pm \frac{\lambda}{2}$$

При падении белого света будут наблюдаться min и max под разными углами, которые соответствуют различным λ

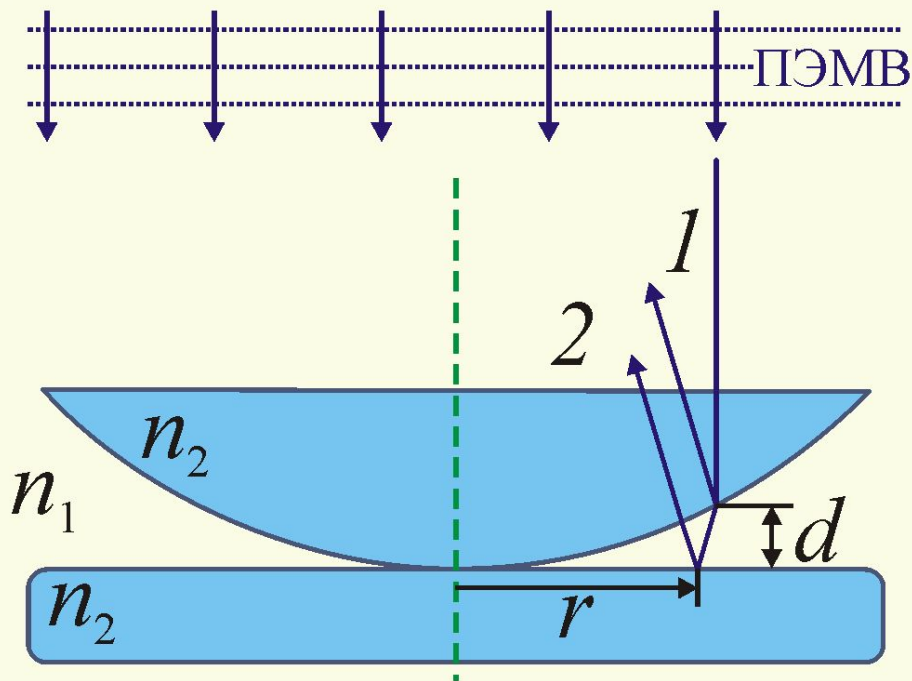


§§ Кольца Ньютона

наблюдаются в месте контакта линзы и, например, стеклянной пластины



Рассмотрим плосковыпуклую линзу, лежащую на плоскопараллельной пластинке.



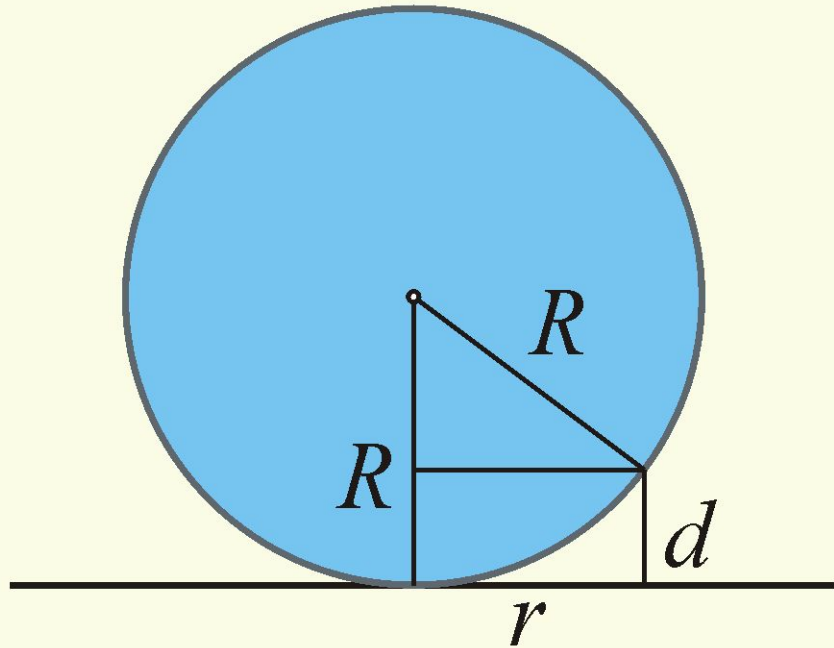
Интерф. картину в отраженном свете формируют 1 и 2
Опт. разность хода:

$$\Delta L_{\text{opt}} = 2 d n_1 + \frac{\lambda}{2}$$

d – величина воздушного промежутка

$\frac{1}{2}\lambda$ – отражение от пластины ($n_1 < n_2$)

Пусть R – радиус кривизны линзы



$$R^2 - r^2 = (R - d)^2$$
$$r^2 = 2Rd \quad (d \ll R)$$

$$d = \frac{r^2}{2R}$$

условие наблюдения минимума:

$$\Delta L_{\text{opt}} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$m = 0, 1, 2, \dots$ – порядок интерференции

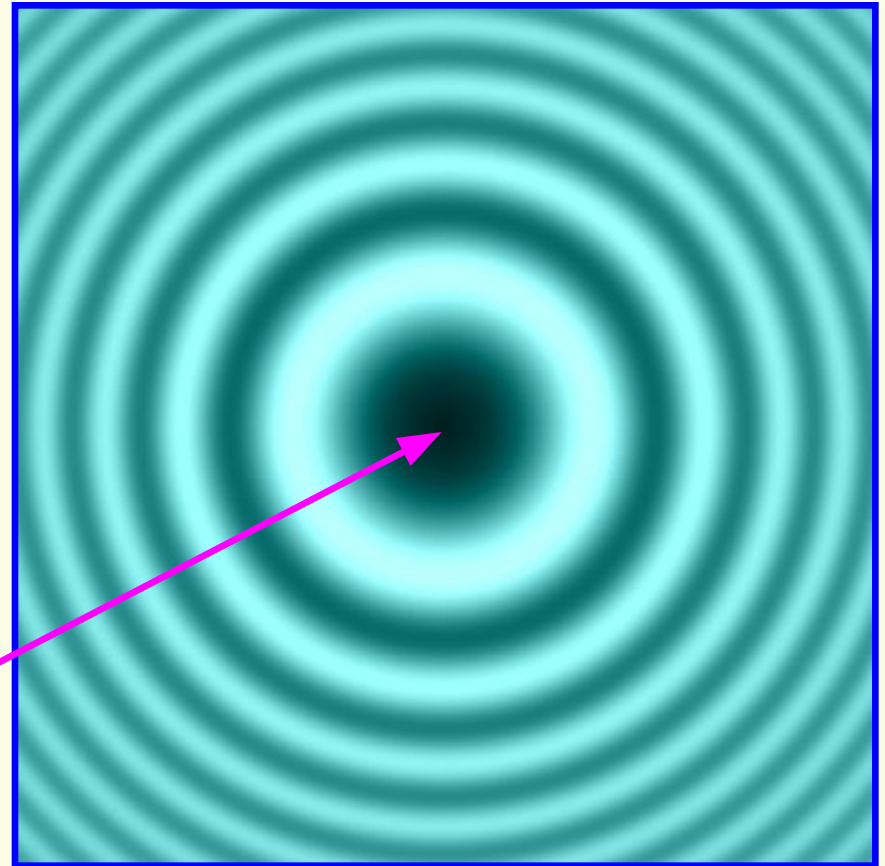
$$(2m + 1) \frac{\lambda}{2} = \frac{r_m^2}{R} n_1 + \frac{\lambda}{2} \Rightarrow r_m = \sqrt{\frac{mR\lambda}{n_1}}$$

– радиус m -го **ТЕМНОГО** кольца Ньютона

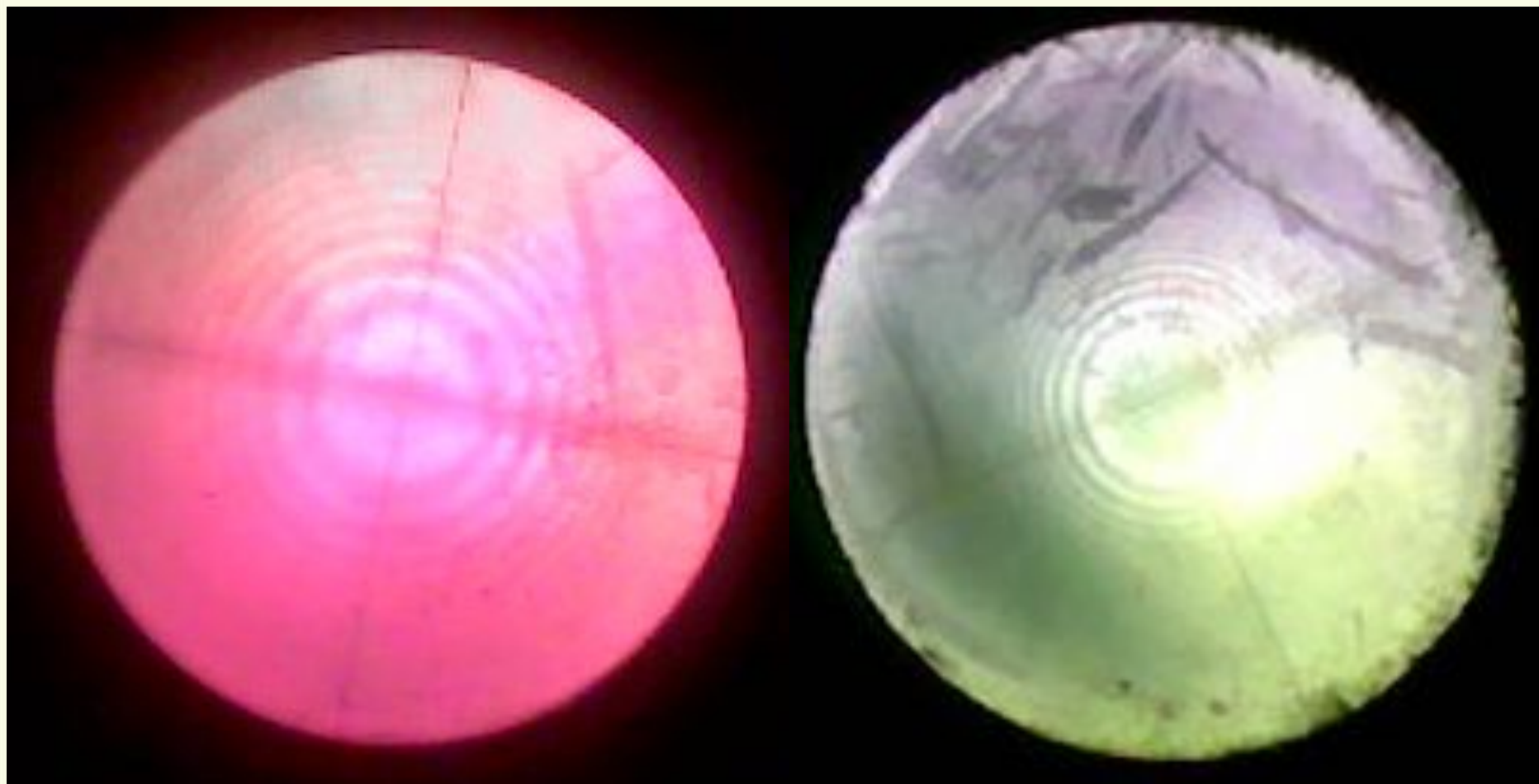
$$r_m = \sqrt{\frac{(2m - 1)R\lambda}{2n_1}}$$

– радиус m -го
СВЕТЛОГО кольца

место контакта
линзы и
пластинки



Лабораторная работа №1



Диаметр, находящийся в поле зрения колец, не превышает 1 миллиметра.

Замечания

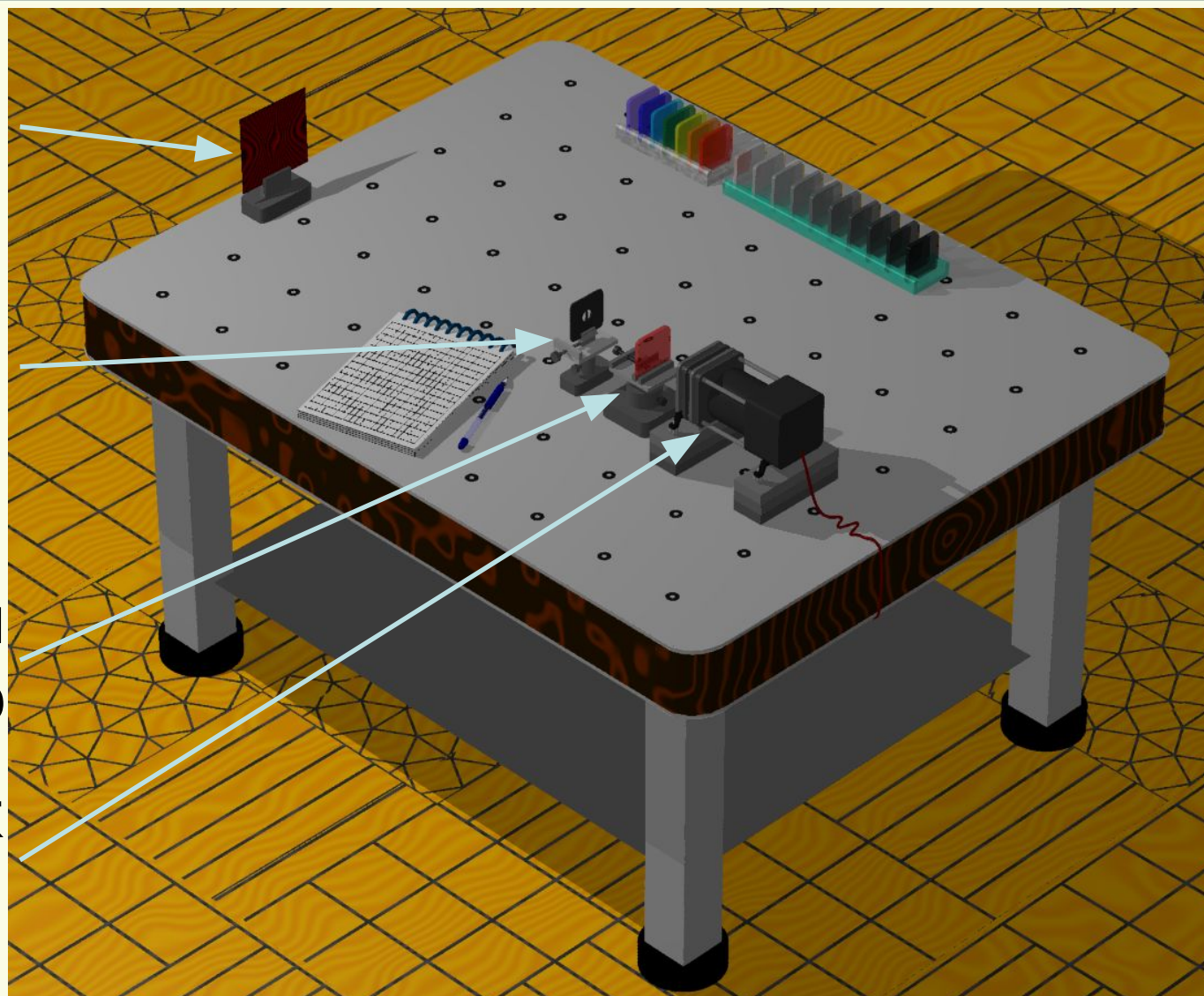
Кольца Ньютона – классический пример полос равной толщины.

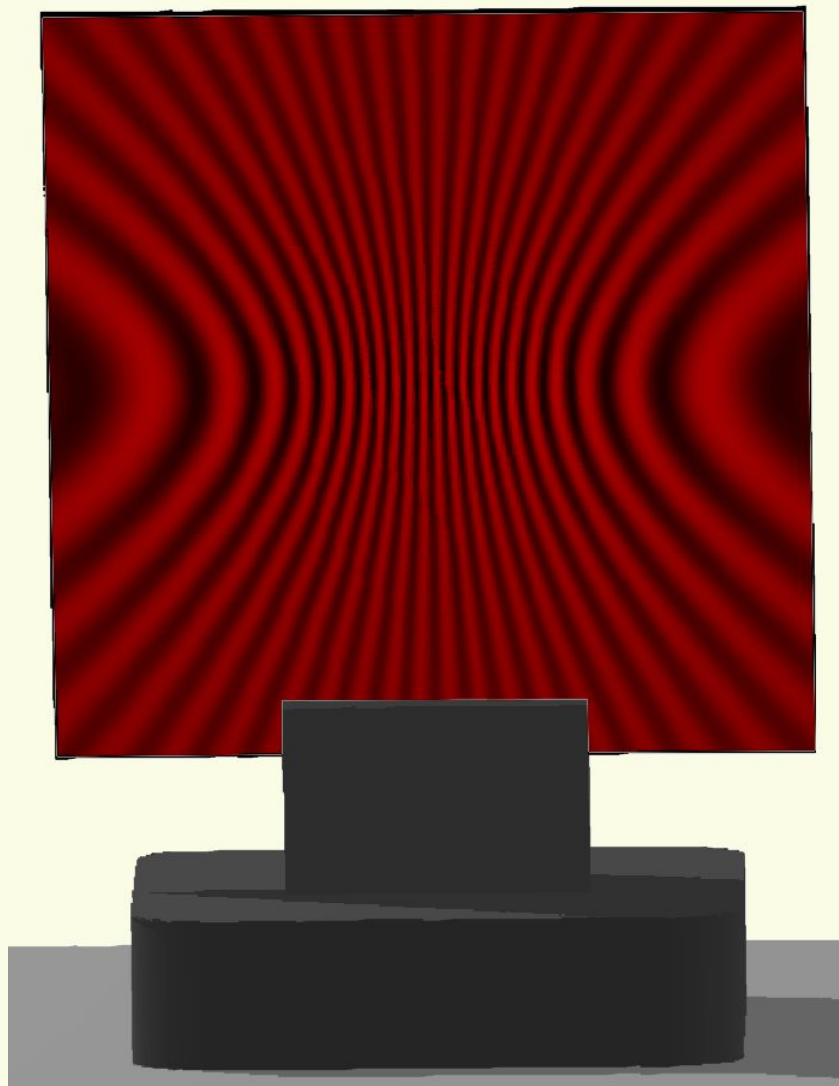
Кольца можно наблюдать в отраженном и проходящем свете.

При падении белого света – получается система цветных колец.

§§ Опыт Юнга

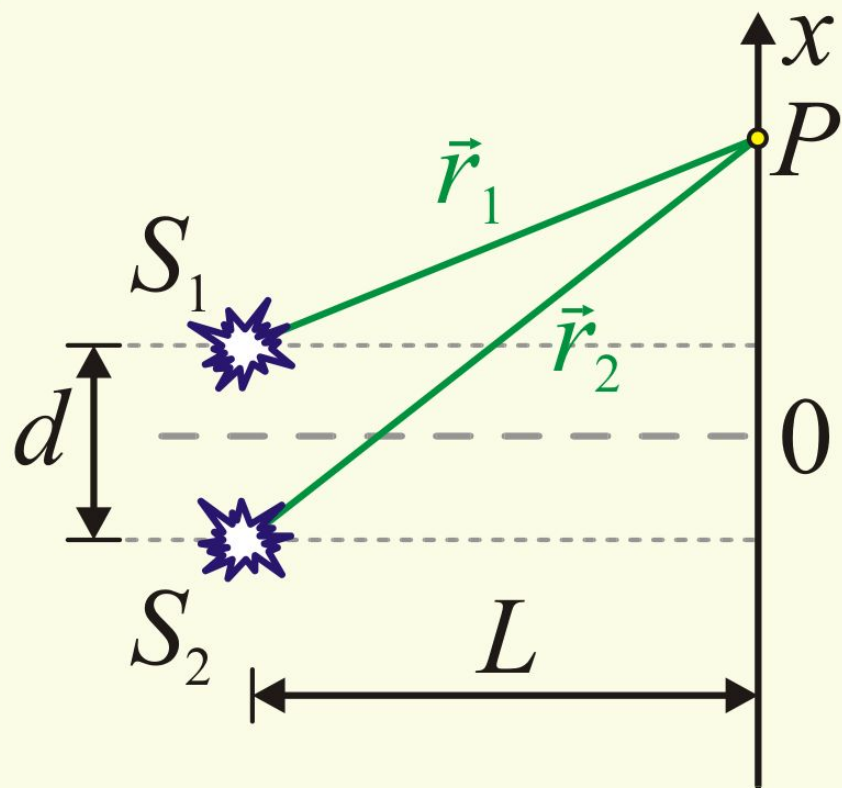
экран
диафрагма
с двумя
отверстиями
цветной
светофильтр
источник
света





на экране
наблюдается
интерференционная
картина –
совокупность
светлых и темных
областей (полос)

определим
положения
 \min и \max
интенсивности



x – расстояние от центра экрана

d – расстояние между источниками,

$L \gg d$ – расстояние до экрана

Найдем разность хода

$$r_1^2 = L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 \quad r_2^2 = L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2$$

вычтем одно выражение из другого:

$$r_2^2 - r_1^2 = 2x \cdot d$$

левую часть можно представить как

$$r_2^2 - r_1^2 = (r_2 - r_1)(r_2 + r_1) = \Delta r \cdot 2L$$

тогда разность хода двух лучей:

$$\Delta r = \frac{xd}{L}$$

Условие наблюдения минимума:

$$\Delta r = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$$

$$x_{\min} = (2m + 1) \frac{\lambda L}{2d}$$

– координата
 m -го минимума

$$x_{\max} = 2m \frac{\lambda L}{2d}$$

– координаты
максимумов

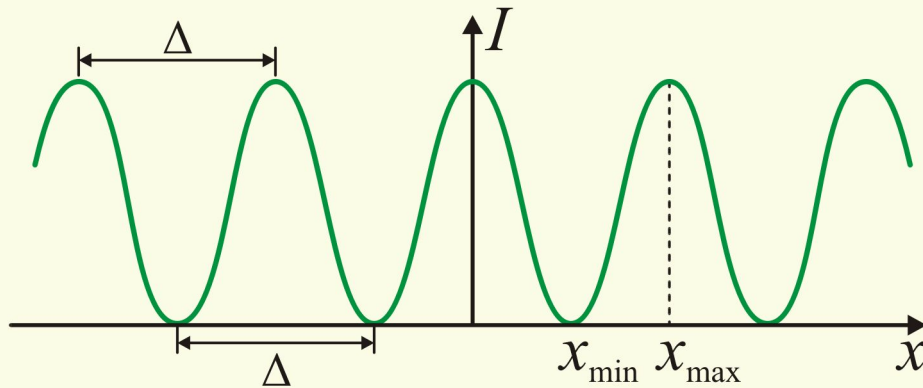
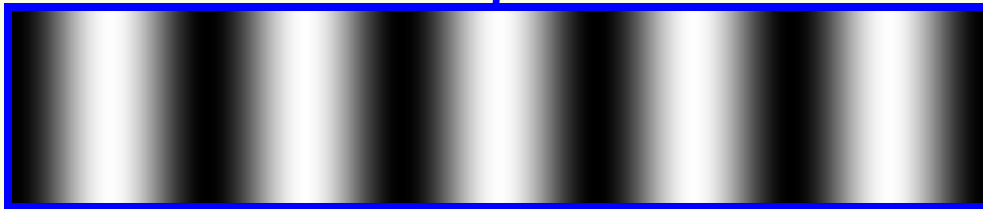
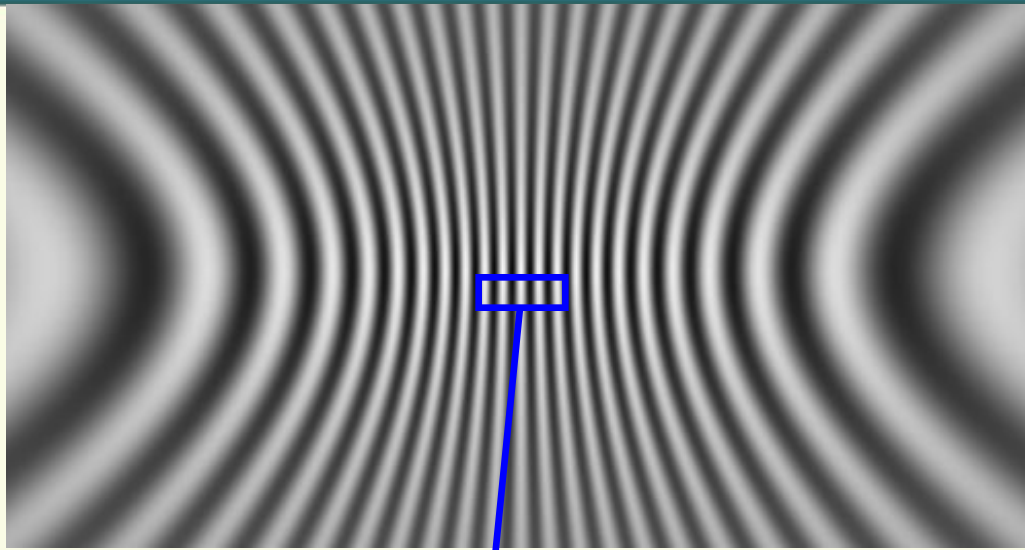
Ширина полосы

(период интерференционной картины)

– расстояние между соседними
минимумами (максимумами):

$$\Delta = \frac{\lambda L}{d}$$

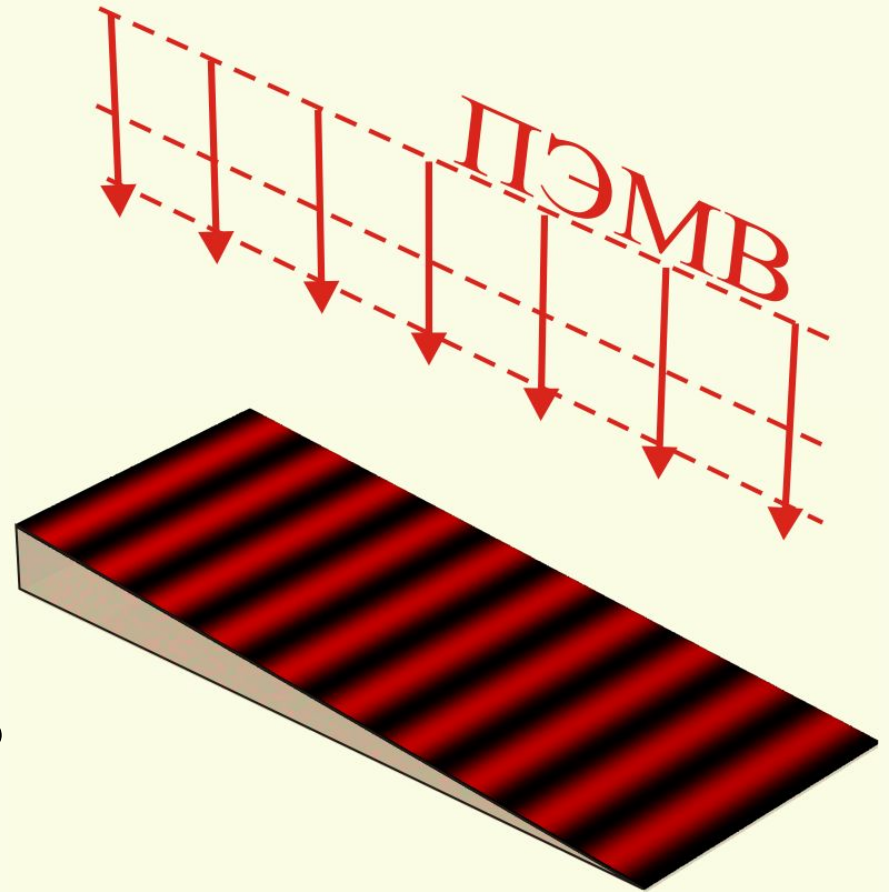
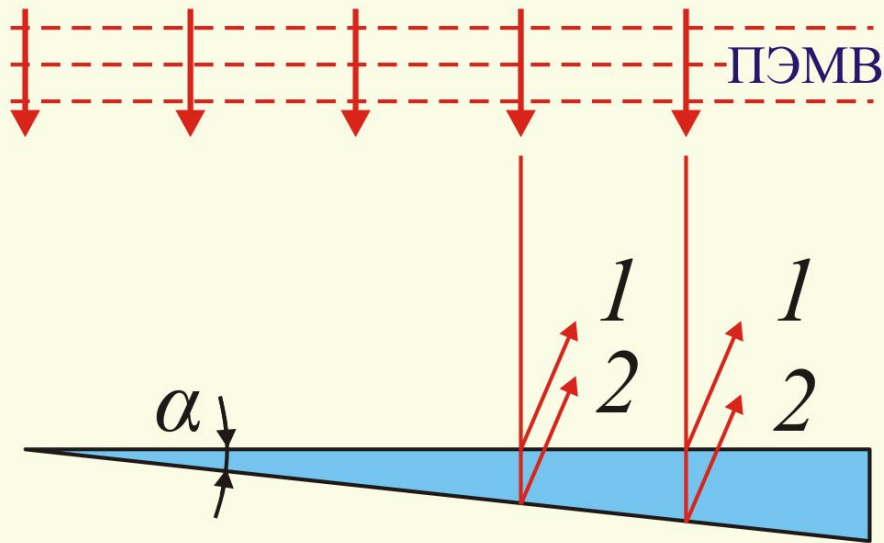
(при $L \gg d$)



Применение
схемы Юнга:

- 1) определение
длины волны
- 2) определение
углового
размера или
расстояния
между
источниками

§§ Интерференция в клине



Оптическая разность
хода двух волн 1 и 2
зависит от h – толщины
клина в данном месте:

$$\Delta L_{\text{opt}} = 2hn + \frac{\lambda}{2}$$

и зависимость толщины клина h от расстояния x до его кромки:

$$h = x \operatorname{tg} \alpha$$

условие наблюдения максимума:

$$\Delta L_{\text{opt}} = 2m \frac{\lambda}{2} \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

наблюдаются **полосы равной
толщины**

светлые полосы наблюдаются при значениях x_m :

$$x_m = \frac{(2m - 1)\lambda}{4n \operatorname{tg} \alpha}$$

Расстояние между соседними полосами:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2n \operatorname{tg} \alpha}$$

Рассмотренная схема позволяет:

определять длину волны света λ ,

показатель преломления среды n

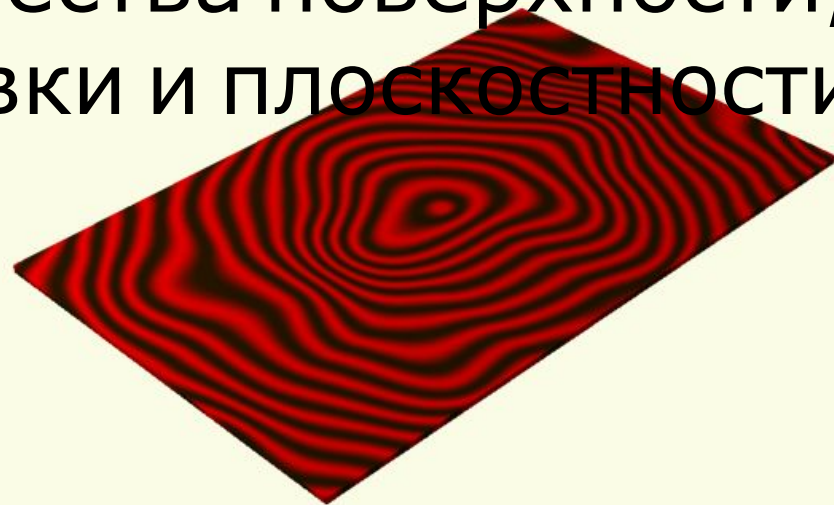
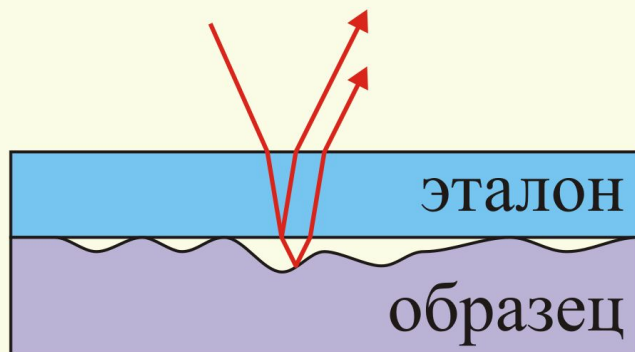
или угол раствора клина α

с очень малой погрешностью.

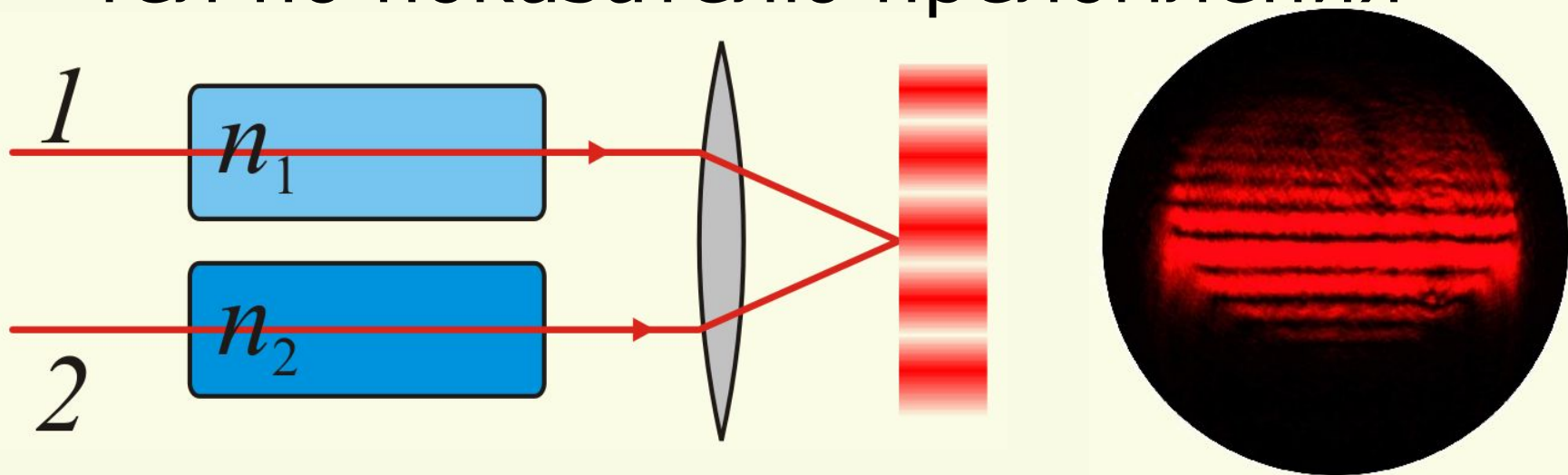
§§ Применение интерференции

«Определение» геометрии

- 1) определение длин и расстояний
0.1 м с погрешностью $< 0.01 \mu$
1.0 м с погрешностью $< 0.1 \mu$
- 2) измерение углов
- 3) Определение качества поверхности, рельефа, шлифовки и плоскостности



- 4) определение характеристик оптического излучения (λ , степени когерентности и монохроматичности)
- 5) просветление оптики
- 6) голография
- 7) определение физических свойств тел по показателю преломления



Другие случаи:



§§ Показатель преломления

Из теории Максвелла следует, что

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0 \mu\mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{n}$$

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu}$$

– **показатель преломления**

Длина волны света в среде:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

λ_0 – длина волны в вакууме

ЭМВ, распространяясь в веществе, вызывает вынужденные колебания ионов решетки и электронов.

Этим объясняется явление **дисперсии** – зависимость скорости ЭМВ от частоты, поскольку ε и n , следовательно, n зависят от частоты ЭМВ.

Колебаниями электронов объясняется дисперсия **в видимой области**, а колебаниями ионов – **в инфракрасной**, т.к. их масса значительно больше.

Таблица значений

вакуум $n = 1$

воздух $n = 1.0003$

вода $n = 1.33$

стекло $n = 1.5 - 1.95$

алмаз $n = 2.4$

нормальная
дисперсия
показателя
преломления

