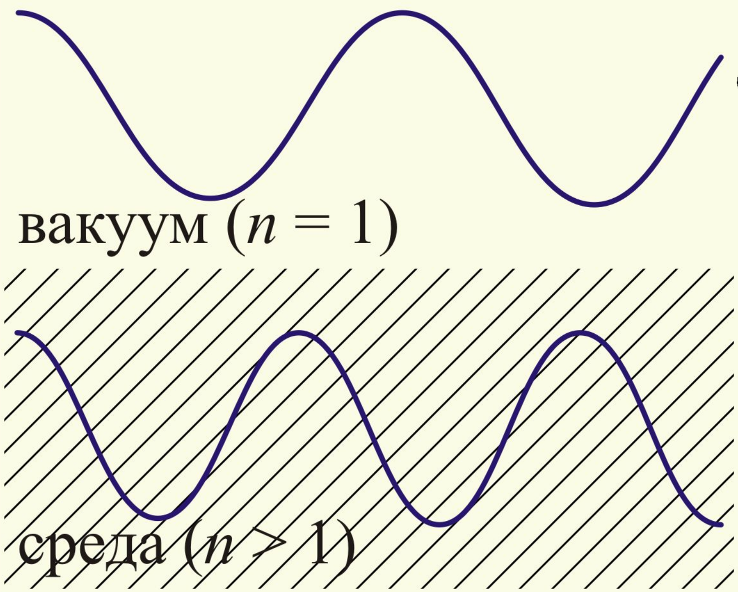
Лекция №2

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

§§ Оптический путь



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

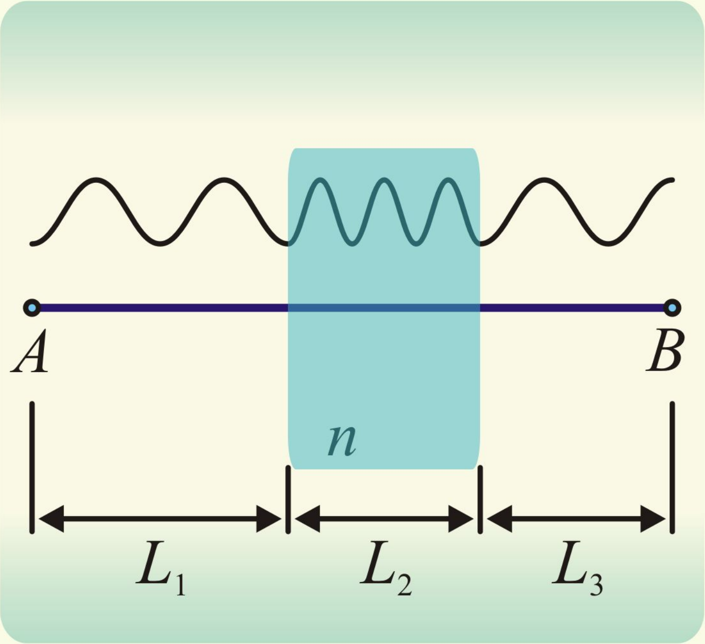
x – геометрический путь

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

Произведение показателя преломления на длину пути называется оптической длиной пути:

$\boxed{L_{\text{opt}} = nx}$ – <u>***оптический путь***</u>

Пример 1: прохождение света через прозрачную пластинку



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

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

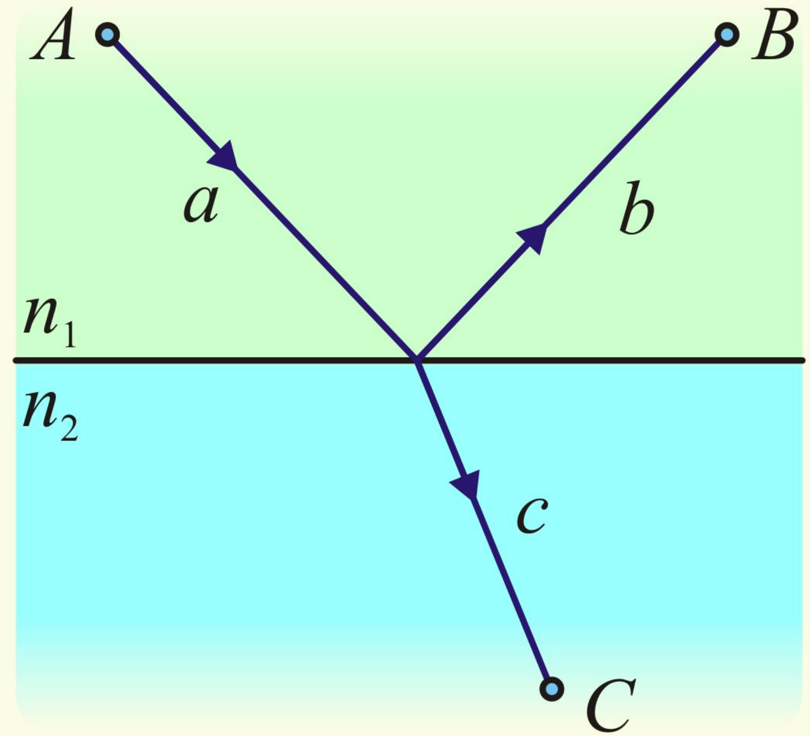
Пример 2: Оптическая разность хода двух волн

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 $\Delta\varphi = \dfrac{2\pi}{\lambda_0}\Delta L_{opt}$

Пример 3:

Отражение от границы раздела двух сред



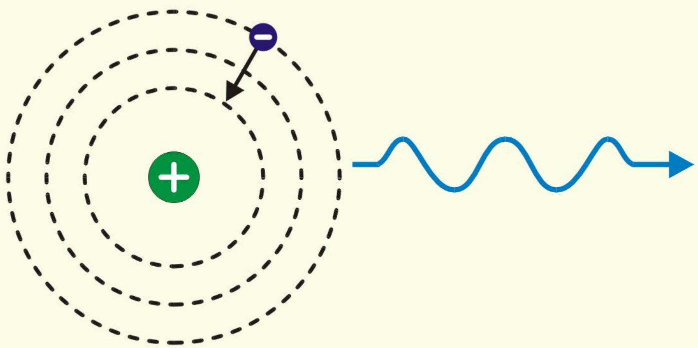
$$L_{\text{opt}}(AC) = n_1 a + n_2 c$$

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

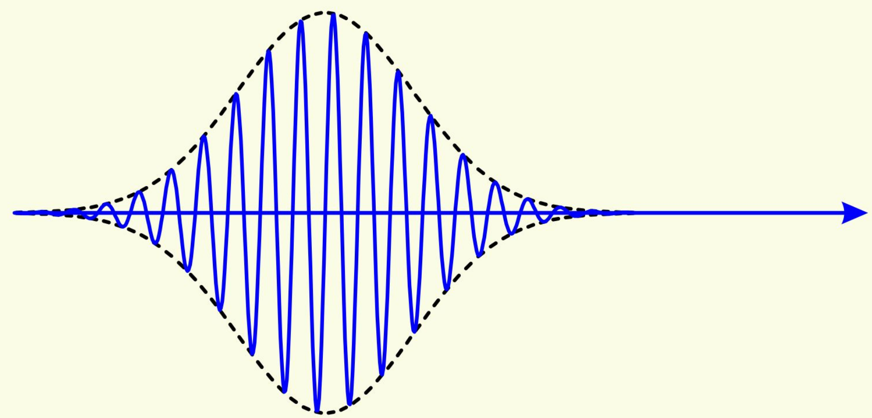
т.е. возникает ***дополнительный набег фазы*** при отражении от оптически более плотной среды

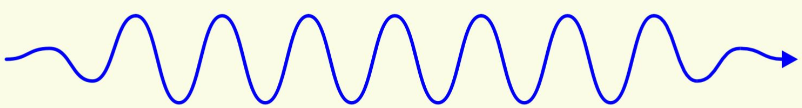
§§ Когерентность

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



Время перехода $\tau \sim 10^{-8}$ с

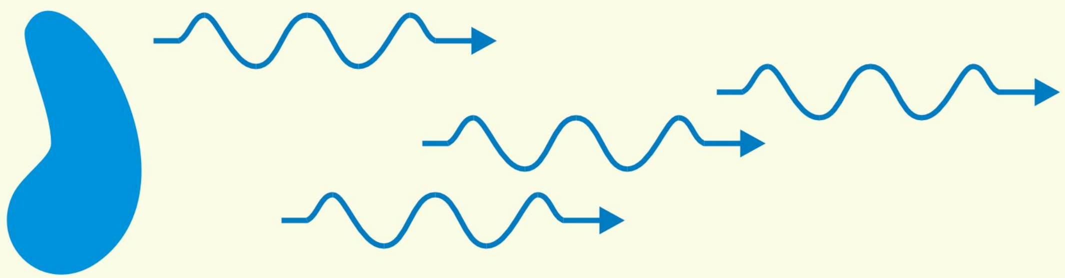




атом излучает набор колебаний – ***<u>цуг волн</u>*** длиной $L = \tau c \sim 3$ м

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.

<u>Временем когерентности</u> 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**.

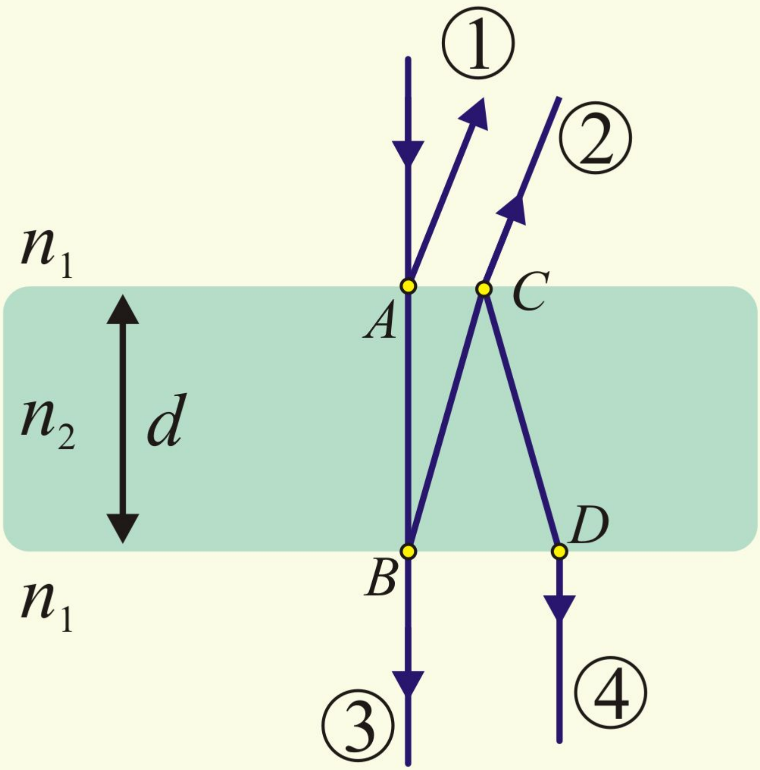
Устойчивая интерференционная картина наблюдается только для ***<u>когерентных</u>*** (согласованных) колебаний.

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:

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

$$= 2n_2 d \pm \frac{\lambda}{2}$$

для проходящих волн

$$\Delta L_{\text{opt}}(34) = 2n_2 d$$

Разности хода отличаются на $\lambda/2$

Следовательно, максимум на отражение соответствует минимуму на пропускание

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

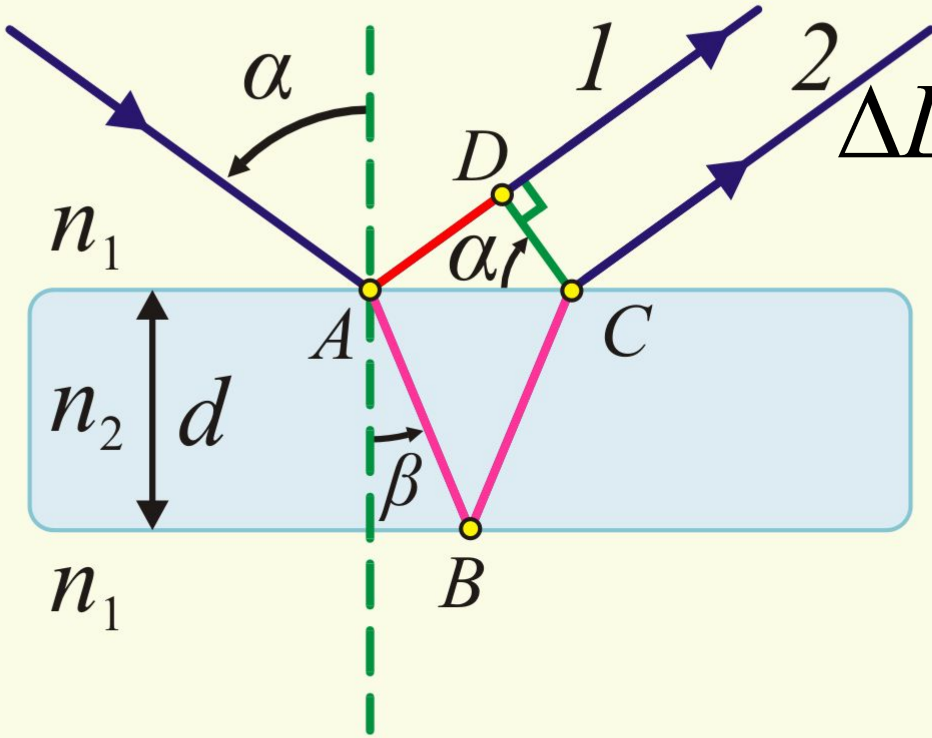
Максимум при пропускании будет наблюдаться, если

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

и соответствующая толщина пленки:

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

Рассмотрим случай наклонного падения



$$\Delta L_{\text{opt}}(12) = n_2(ABC) - n_1(AD) \pm \frac{\lambda}{2}$$

из-за отражения в т.A $(n_2 > n_1)$

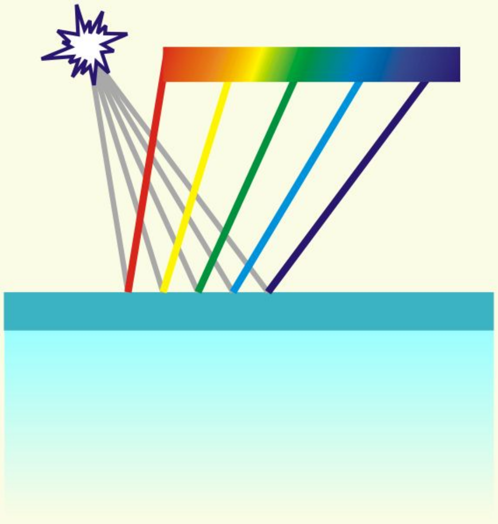
$$AB = \frac{d}{\cos\beta},\ AC = 2AB\sin\beta = \frac{2d\sin\beta}{\cos\beta}$$

$$AD = AC\sin\alpha$$

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

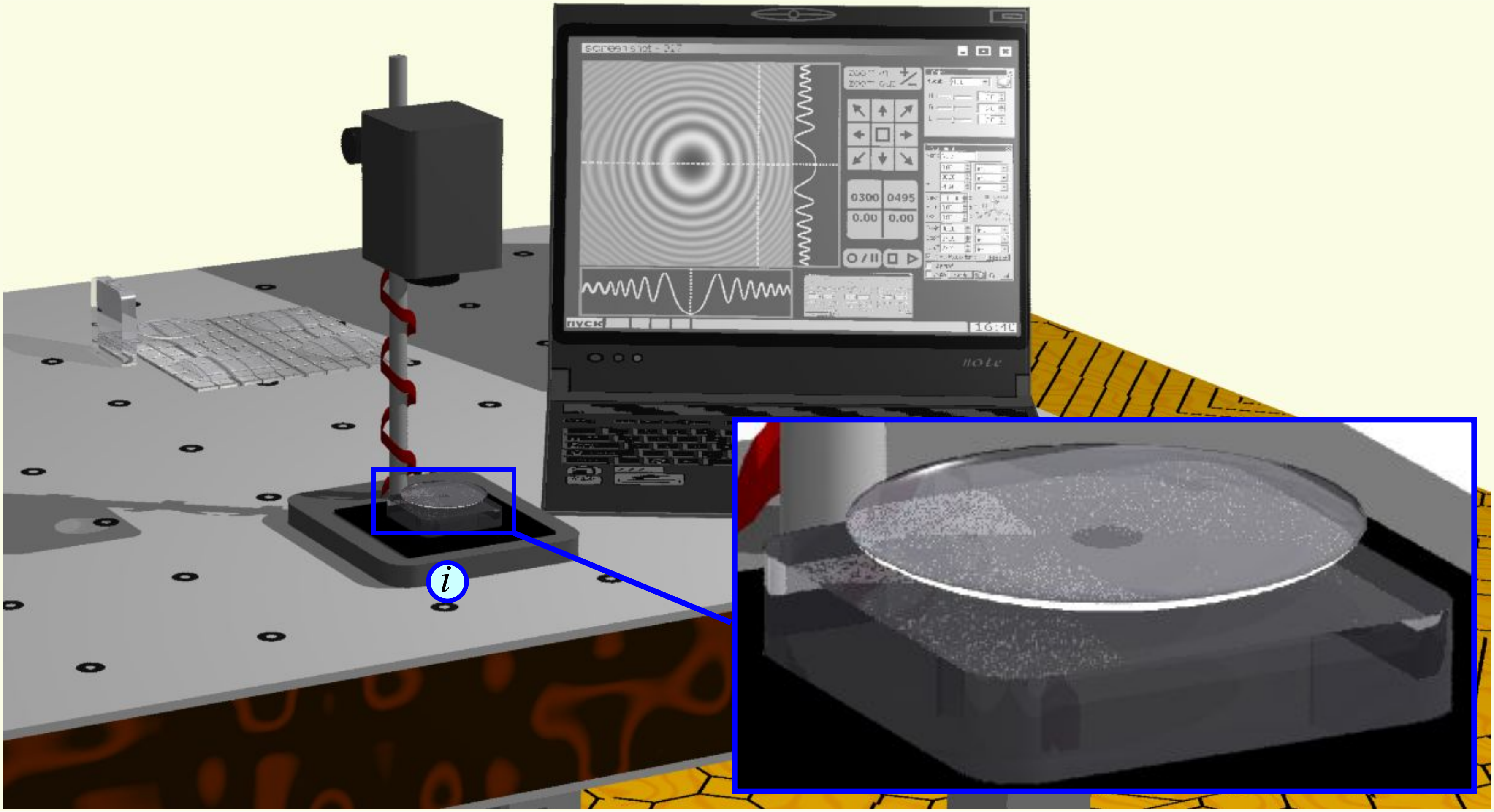
$$\Delta L_{\text{opt}}(12) = 2d\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2\alpha} \pm \frac{\lambda}{2}$$

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

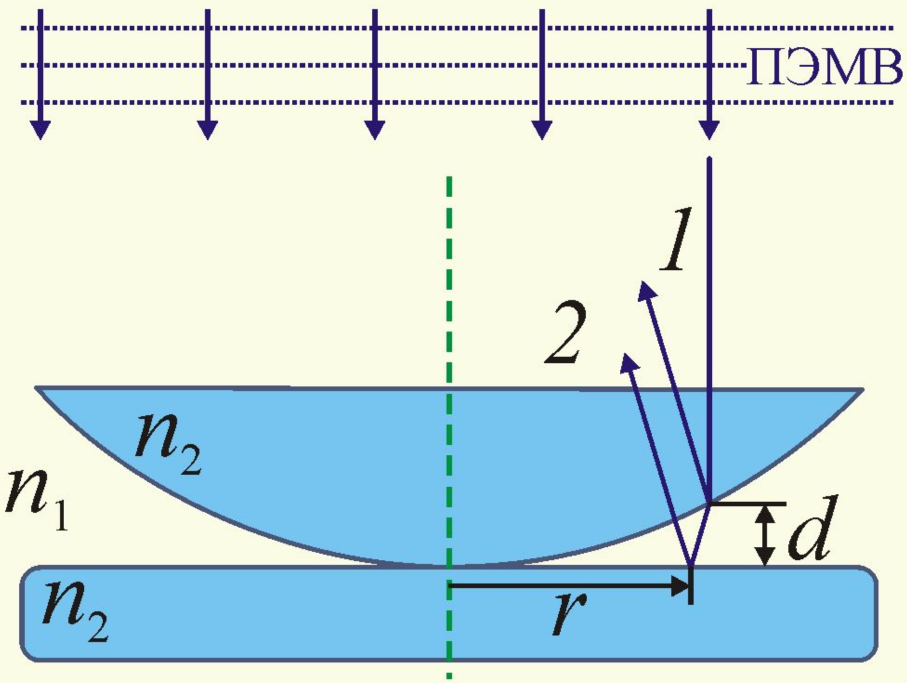


§§ Кольца Ньютона

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

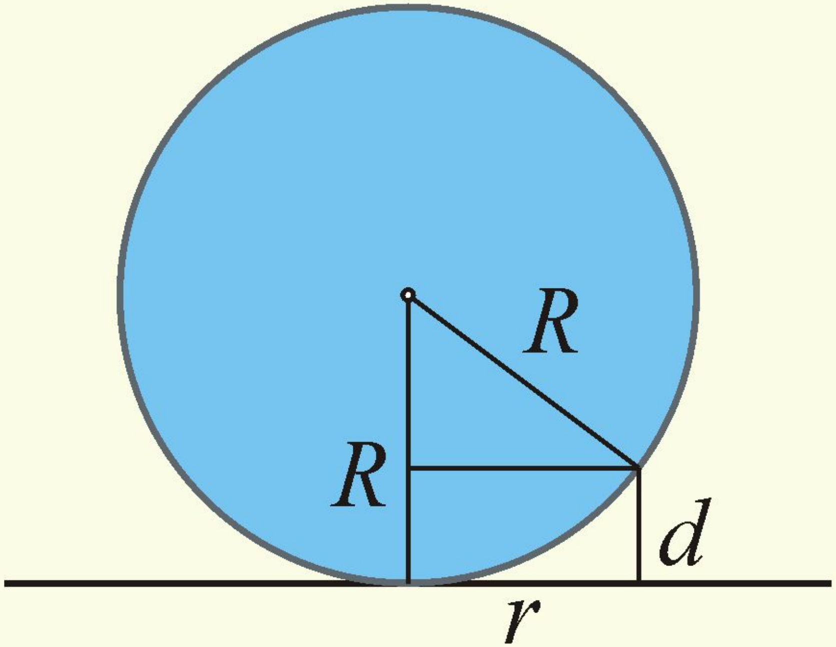
Опт. разность хода:

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

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:

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

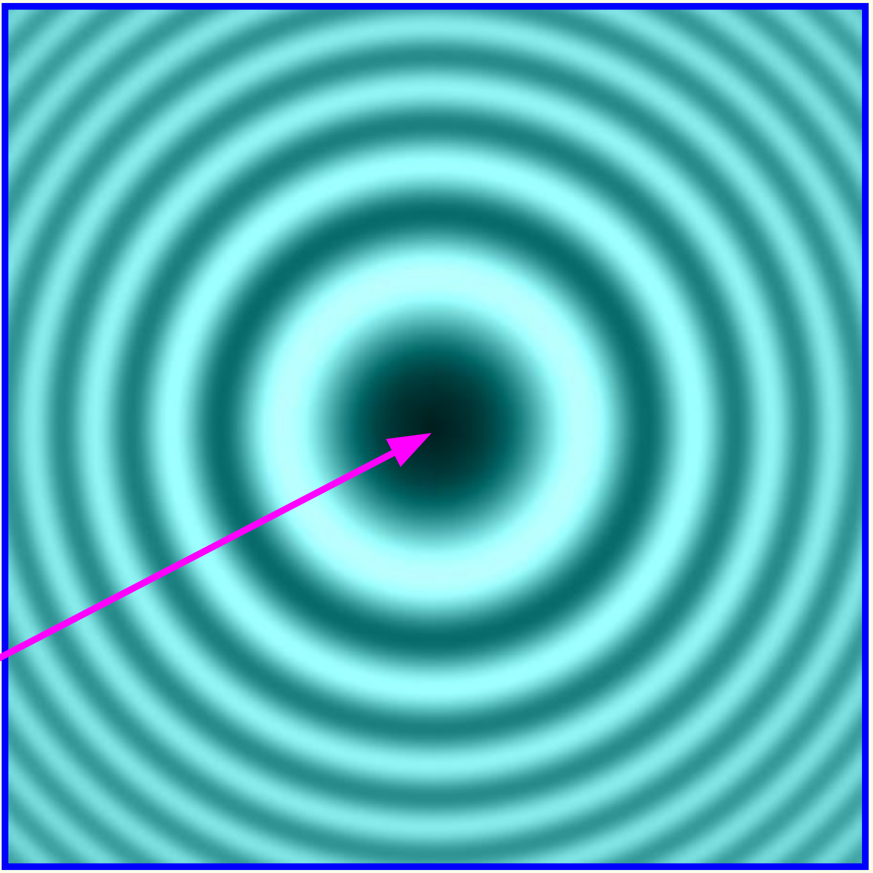
$m = 0, 1, 2, \ldots$ – порядок интерференции

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

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

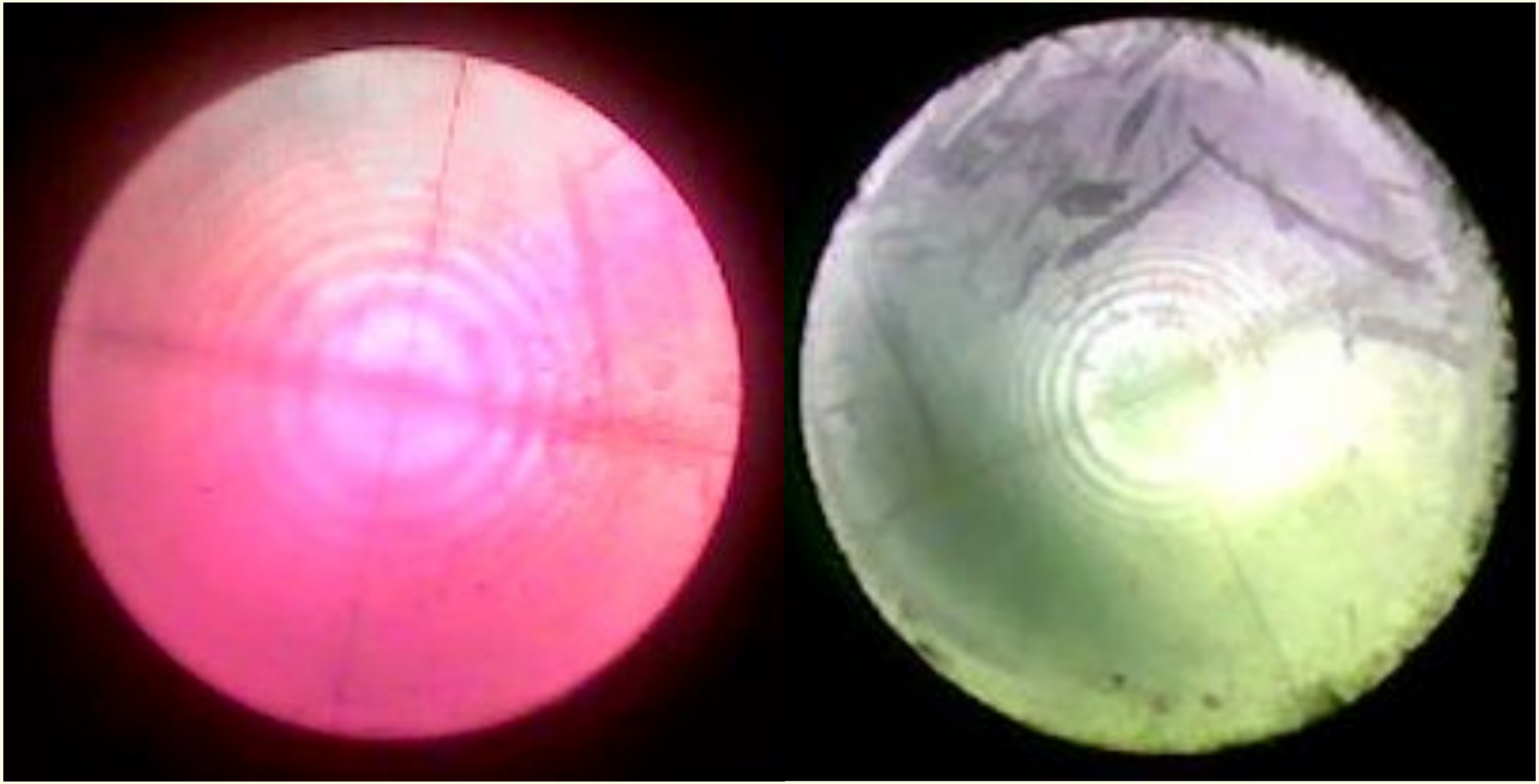
$$\boxed{r_m=\sqrt{\frac{(2m-1)R\lambda}{2n_1}}}$$

– радиус m-го ***светлого*** кольца



место контакта линзы и пластинки

Лабораторная работа №1



Диаметр, находящихся 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.

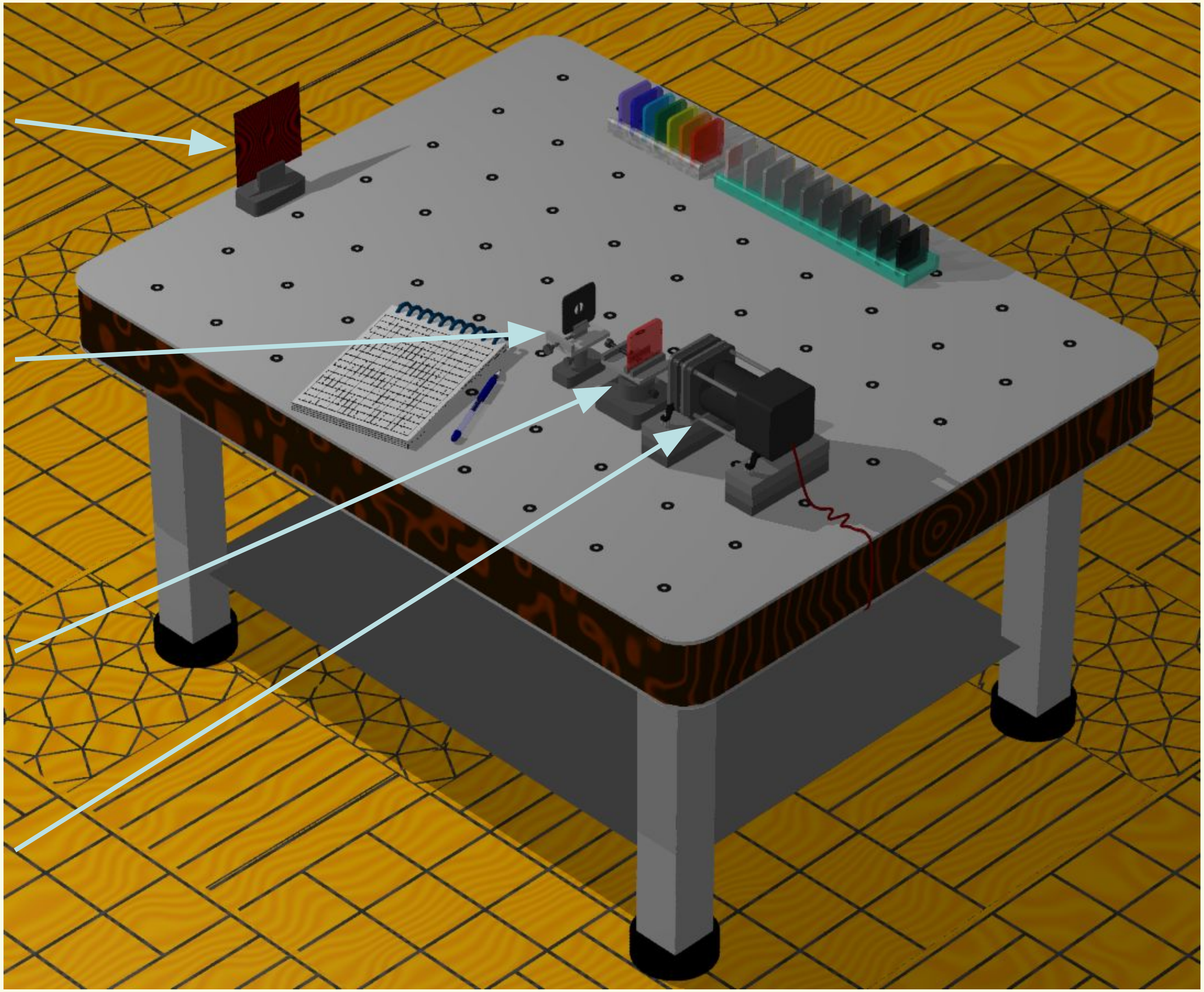
§§ Опыт Юнга

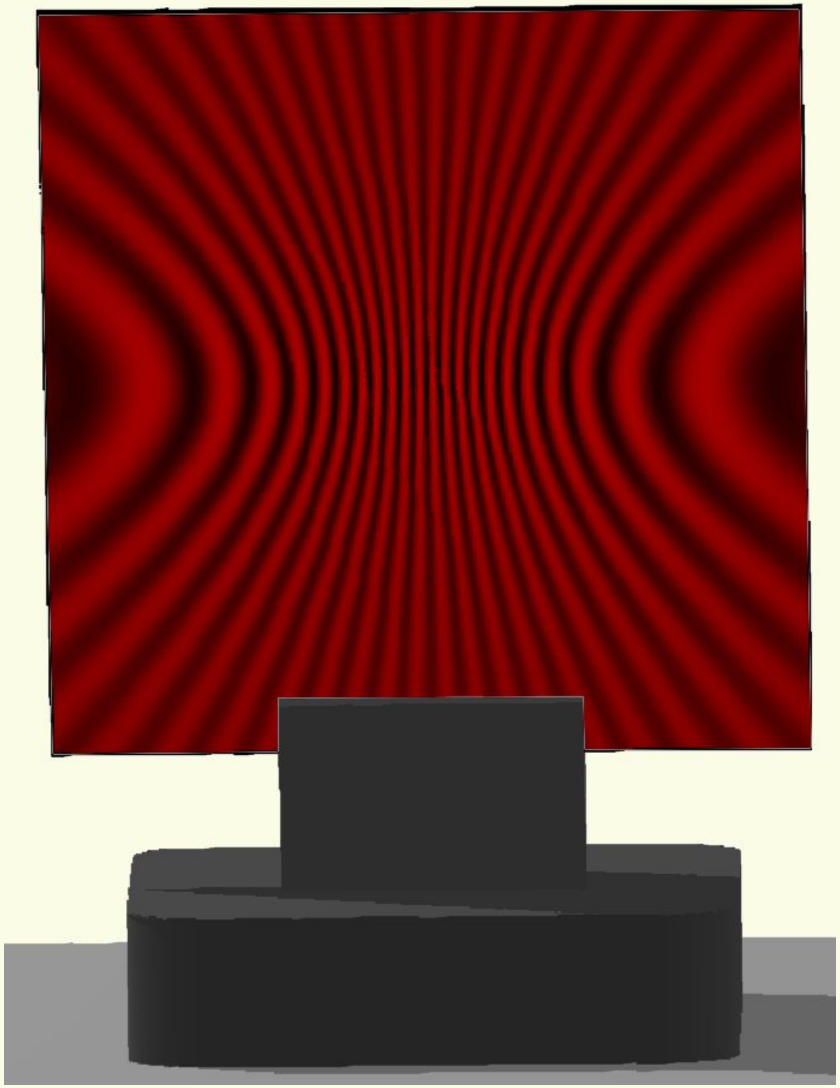
экран

диафрагма
с двумя
отверстиями

цветной
светофильтр

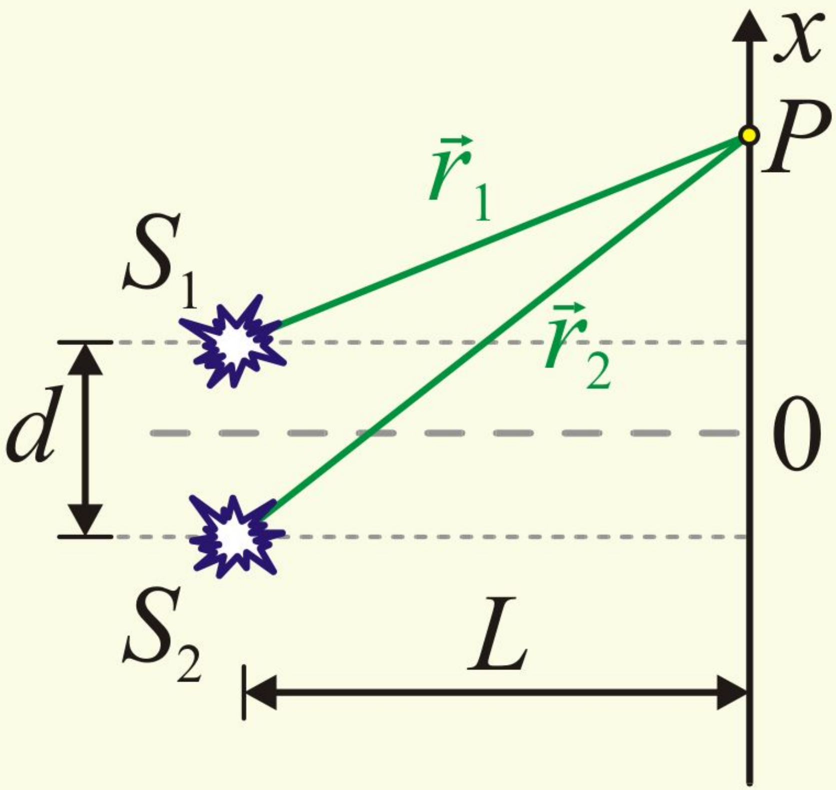
источник
света





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,

$L >> d$ – расстояние до экрана

Найдем разность хода

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

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:

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

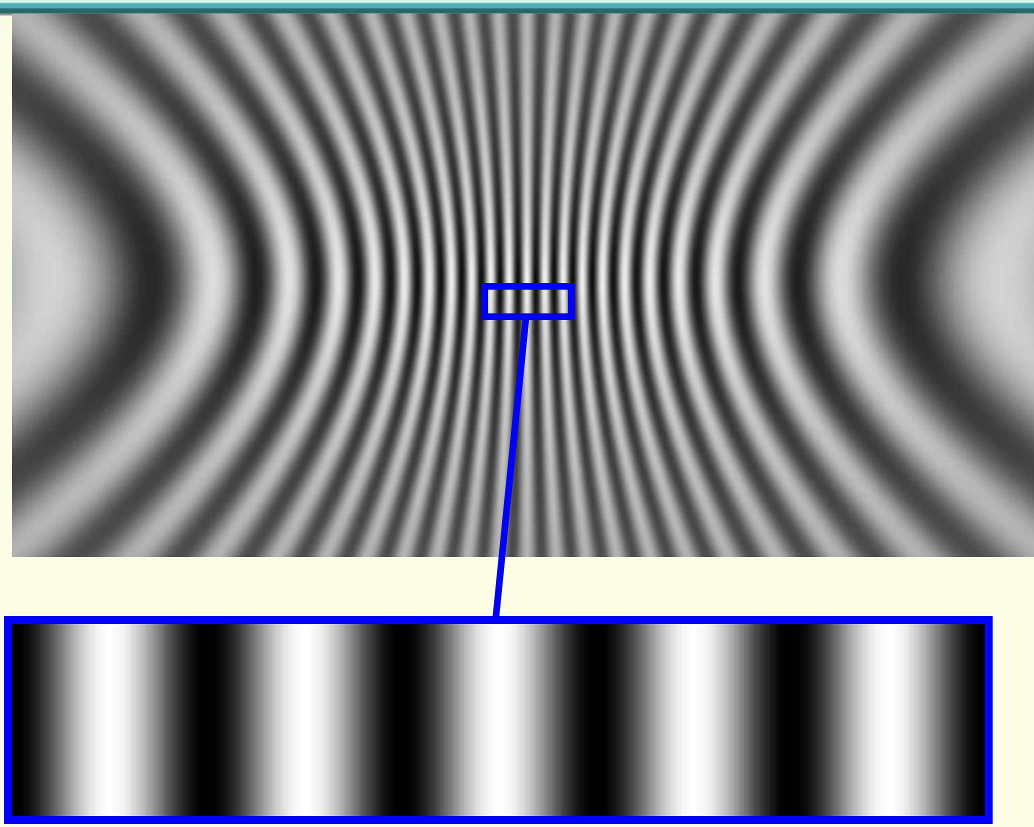
$$\boxed{x_{\min} = (2m+1)\frac{\lambda L}{2d}}$$ – координата m-го минимума

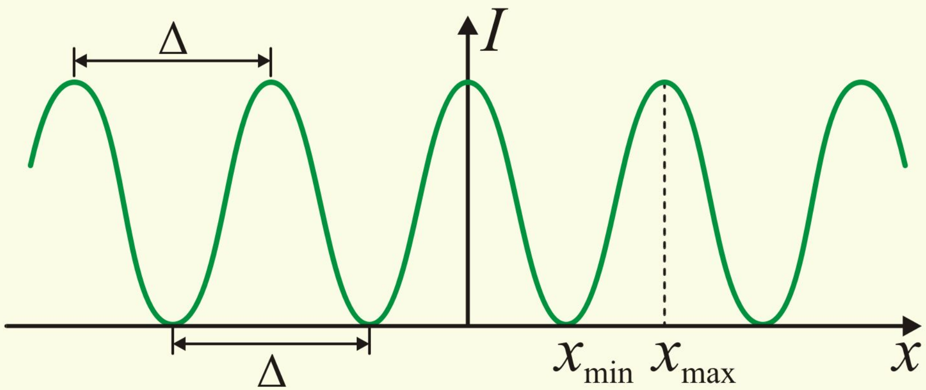
$$\boxed{x_{\max} = 2m\frac{\lambda L}{2d}}$$ – координаты максимумов

Ширина полосы

(период интерференционной картины) – расстояние между соседними минимумами (максимумами):

$$\boxed{\Delta = \frac{\lambda L}{d}}$$ (при $L >> d$)



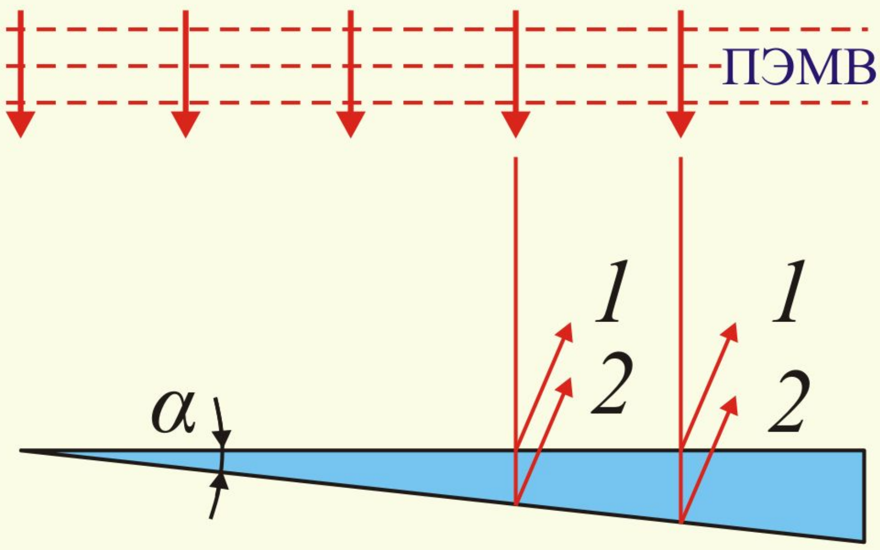


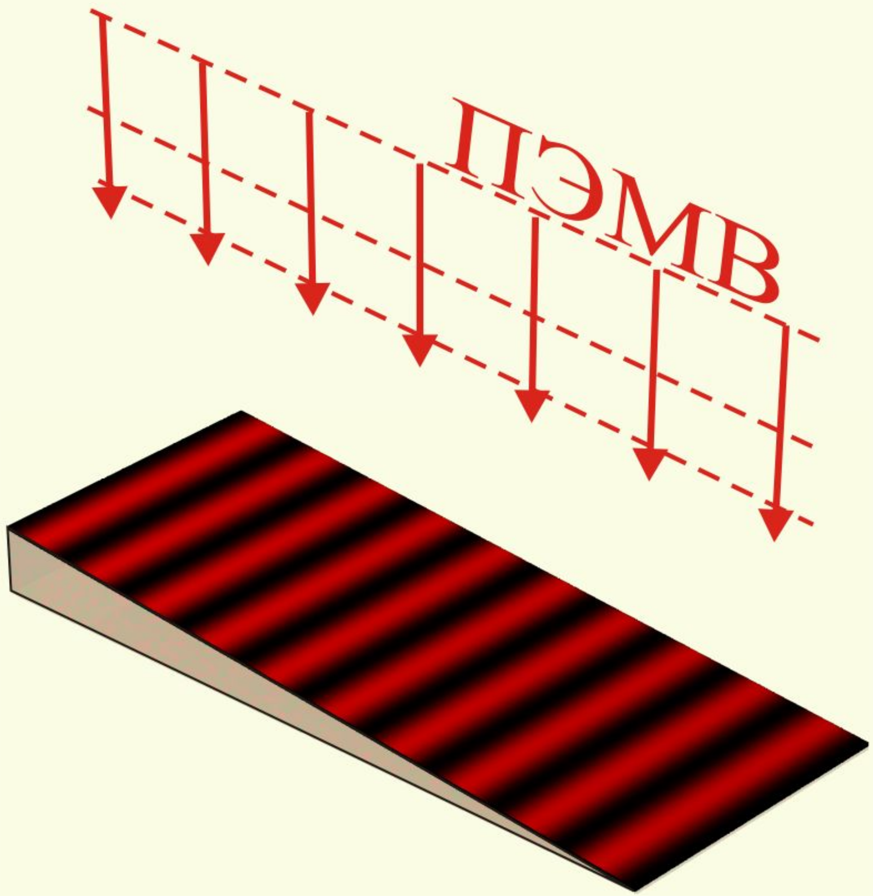
Применение схемы Юнга:

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:

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

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

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

условие наблюдения максимума:

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

наблюдаются ***<u>полосы равной толщины</u>***

светлые полосы наблюдаются при значениях x_m:

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

Расстояние между соседними полосами:

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

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

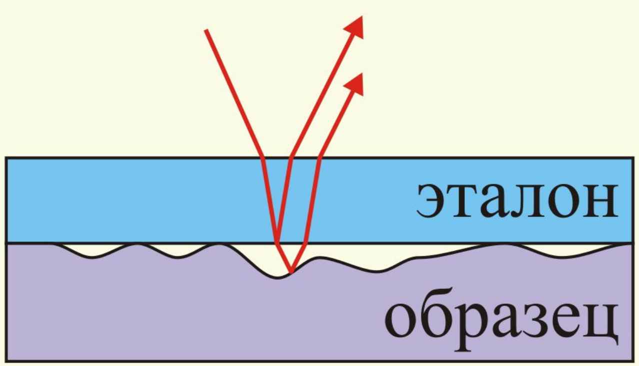
1) определение длин и расстояний

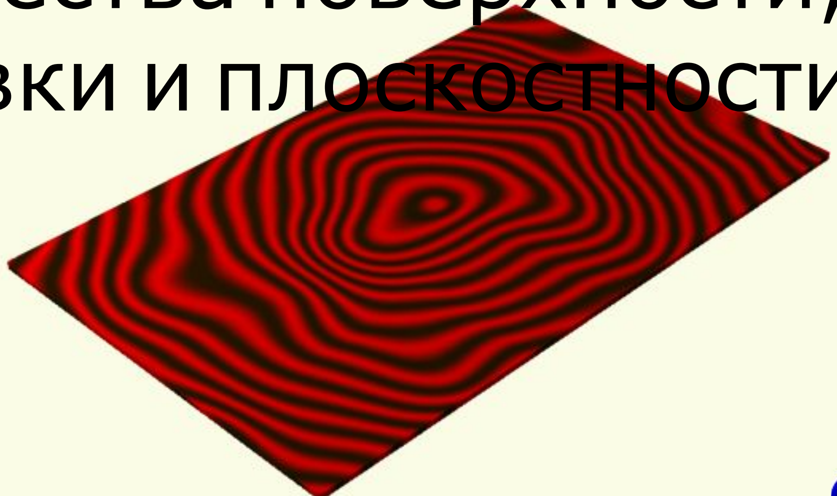
0.1 м с погрешностью < 0.01 μ

1.0 м с погрешностью < 0.1 μ

2) измерение углов

3) Определение качества поверхности, рельефа, шлифовки и плоскостности



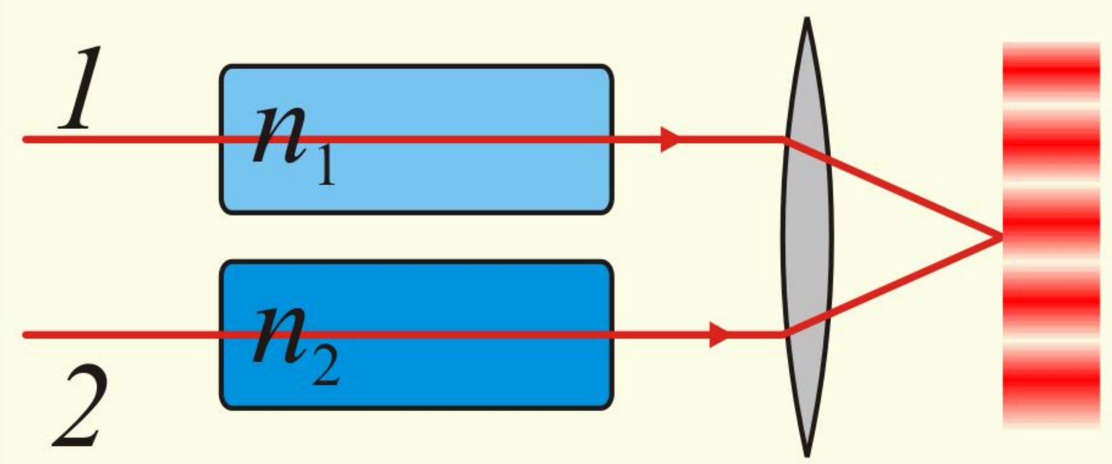


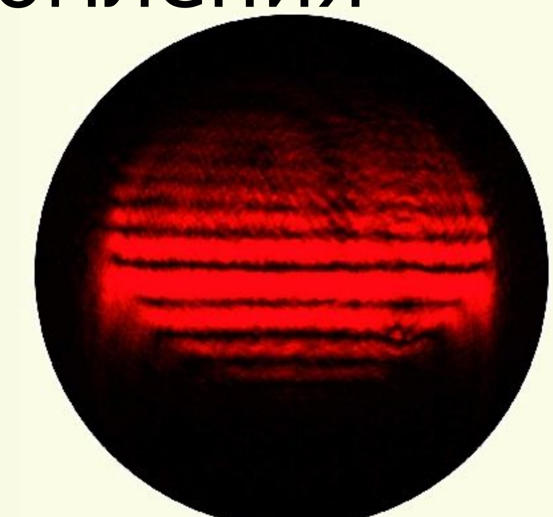
4) определение характеристик оптического излучения (λ, степени когерентности и монохроматичности)

5) просветление оптики

6) голография

7) определение физических свойств тел по показателю преломления





Другие случаи:

§§ Показатель преломления

Из теории Максвелла следует, что

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

$\boxed{n = \sqrt{\varepsilon\mu}}$ – ***<u>показатель преломления</u>***

Длина волны света в среде: $\boxed{\lambda = \frac{\lambda_0}{n}}$

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, 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