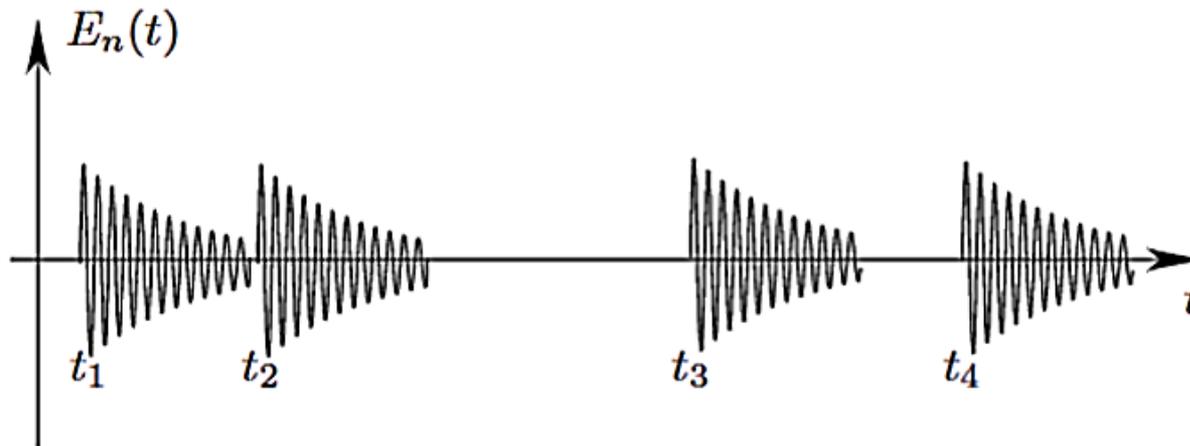
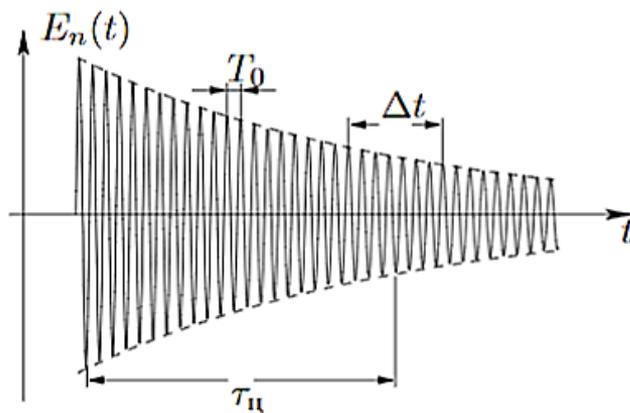


Интерференция света. Временная и пространственная когерентность



Последовательность пучков, излучаемых атомом



Отдельный пучок излучения – колебание
затухающего осциллятора

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность

Временная когерентность

Максимальная разность хода, при которой возможна интерференция, называется *длиной когерентности* излучения $l_{\text{ког}}$, соответствующее ей время запаздывания одного из пучков – *временем когерентности*

$$\tau_{\text{ког}} = \frac{l_{\text{ког}}}{c}$$

Условие временной когерентности световых колебаний:

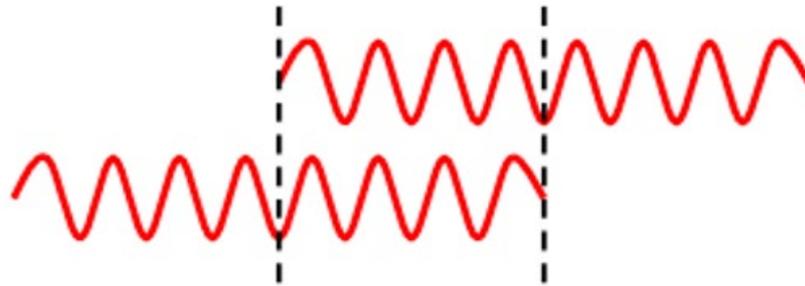
$$\Delta < l_{\text{ког}} = c\tau_{\text{ког}}.$$

Временная когерентность связана с немонахроматичностью интерферирующих волн, что, в свою очередь, является следствием *конечной ширины $\delta\omega$ спектральной линии* источника света

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность

Временная когерентность

Если излучаемый источником свет состоит из следующих друг за другом цугов волн с беспорядочно изменяющимися фазами, то интерференционная картина будет наблюдаться в том случае, когда складываются колебания, полученные из одного цуга



Фактически *время когерентности* – это *временная длительность цуга*

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность

Временная когерентность

Оценим разность хода волн, при которой происходит исчезновение интерференционных полос

Пусть спектральный интервал шириной $\delta\omega$ равномерно заполнен отдельными монохроматическими компонентами, сложим в точке наблюдения колебания от прошедших волн с частотами ω и $\omega + \delta\omega$:

$$E_1 \cos(\omega t + \alpha_1) + E_2 \cos[(\omega + \delta\omega)t + \alpha_2] = E_1 \cos(\omega t + \alpha_1) + E_2 \cos(\omega t + \delta\omega t + \alpha_2)$$

Временем когерентности $\tau_{\text{ког}}$ будет время, за которое разность фаз $\delta(t) = \delta\omega \cdot t + \alpha_2 - \alpha_1$ изменяется на 2π :

$$\delta(t + \tau_{\text{ког}}) - \delta(t) = \delta\omega \cdot \tau_{\text{ког}} \sim 2\pi$$

$$\tau_{\text{ког}} \sim \frac{2\pi}{\delta\omega} = \frac{1}{\delta\nu} = \frac{\lambda^2}{c\delta\lambda}$$

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность

Длина когерентности:

$$l_{\text{ког}} = c\tau_{\text{ког}} = \frac{c}{\delta\nu} = \frac{\lambda^2}{\delta\lambda}$$

Длина когерентности - характеристика *временной когерентности*

Итак, когда разность хода равна длине когерентности $\Delta_{\text{max}} \sim l_{\text{ког}}$, интерференционной картины не наблюдается

Длине когерентности соответствует максимально возможный (предельный наблюдаемый) порядок интерференции:

$$m_{\text{max}} \sim \frac{\Delta_{\text{max}}}{\lambda} = \frac{l_{\text{ког}}}{\lambda} = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = \frac{\omega}{\delta\omega}$$

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность

Оценка времени когерентности и длины когерентности

Источник света	λ_0 , мкм	$\lambda_0/\Delta\lambda$	m_{\max}	τ_k , с	l_k
Солнечный свет	~ 0.5	~ 1.7	~ 2	$3 \cdot 10^{-15}$	~ 1 мкм
Фильтр	~ 0.5	10	10	$2 \cdot 10^{-14}$	5 мкм
Ртутная лампа	~ 0.3	10^5	10^5	10^{-10}	3 см
He-Ne лазер	~ 0.6	до 10^{13}	до 10^{13}	до $2 \cdot 10^{-2}$	до $6 \cdot 10^6$ м

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность

Пространственная когерентность

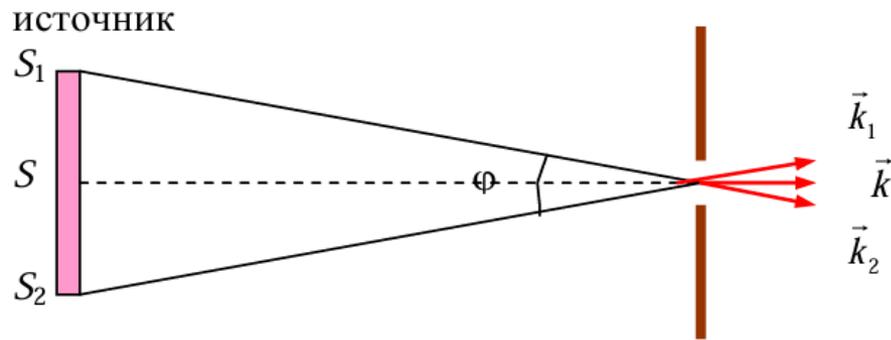
Протяженный спонтанно излучающий источник можно рассматривать как совокупность большого числа точечных взаимно некогерентных элементов

Наблюдаемая в любом месте интенсивность равна сумме интенсивностей интерференционных картин, создаваемых отдельными точечными элементами протяженного источника

Для пространственно протяженного источника волны разбросаны и по направлениям распространения $\Delta \vec{k}$

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность

Пространственная когерентность



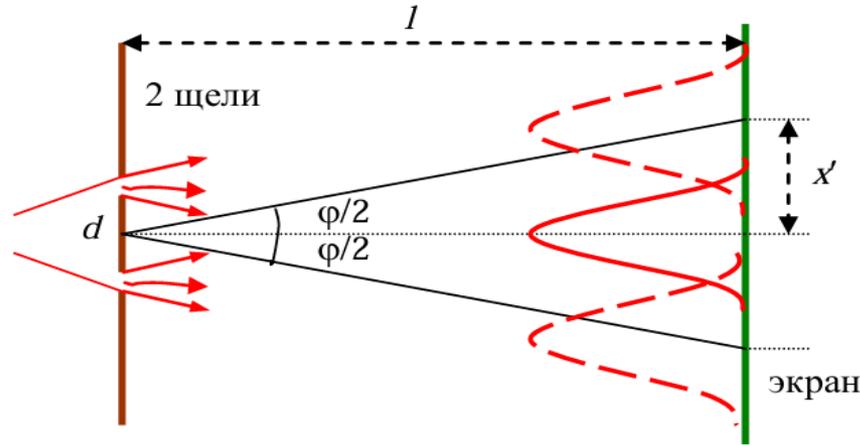
Пусть источник S имеет какие-то размеры и виден под углом ϕ из середины щели

После первой щели свет падает на две щели, от которых можно наблюдать интерференционную картину

Полная интерференционная картина – наложение картин, отдельно создаваемых каждым участком источников (щелей)

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность

Пространственная когерентность



Пусть x' – расстояние между максимумами, которые появляются в распределении интенсивности от центральной части источника (исходной щели) и от его края

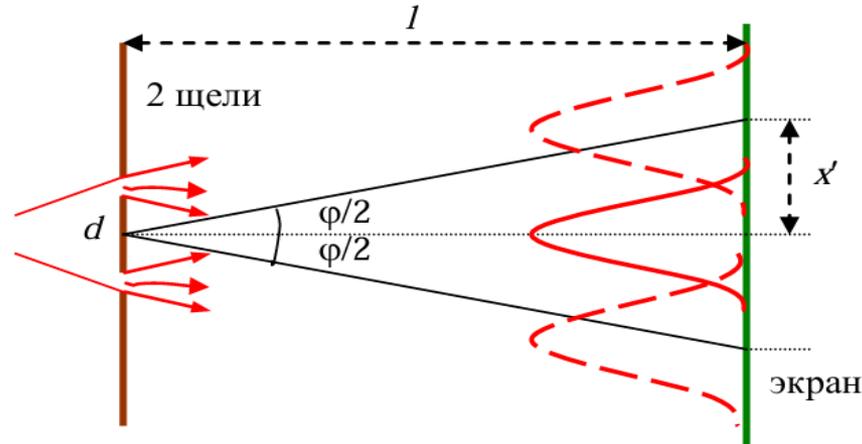
Если это расстояние значительно меньше ширины интерференционной полосы

$$x' \ll \Delta x = \frac{l}{d} \lambda ,$$

то интерференционная картина наблюдается

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность

Пространственная когерентность



Если $x' \sim \Delta x$, то максимум от одной части источника накладывается на минимум от другой, поэтому интерференционная картина не видна

Условие наблюдения интерференции записывается в виде

$$x' \leq \Delta x$$

или иначе

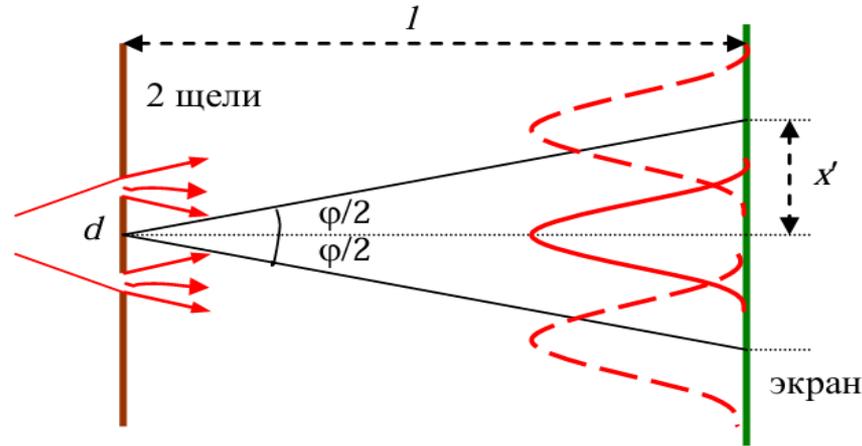
$$l \cdot \varphi/2 \leq l \cdot \lambda/d$$

Тогда получаем для угла φ (множитель 2 убран из-за оценочного характера)

$$\varphi \leq \frac{\lambda}{d}$$

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность

Пространственная когерентность



Можно записать условие для наблюдения интерференции в виде

$$d < \frac{\lambda}{\phi}$$

Если расстояние между точками на волновой поверхности меньше d , то они когерентны

Длина пространственной когерентности (или *радиус когерентности*)

$$\rho_{\text{ког}} \sim \frac{\lambda}{\phi}$$

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность

Пространственная когерентность

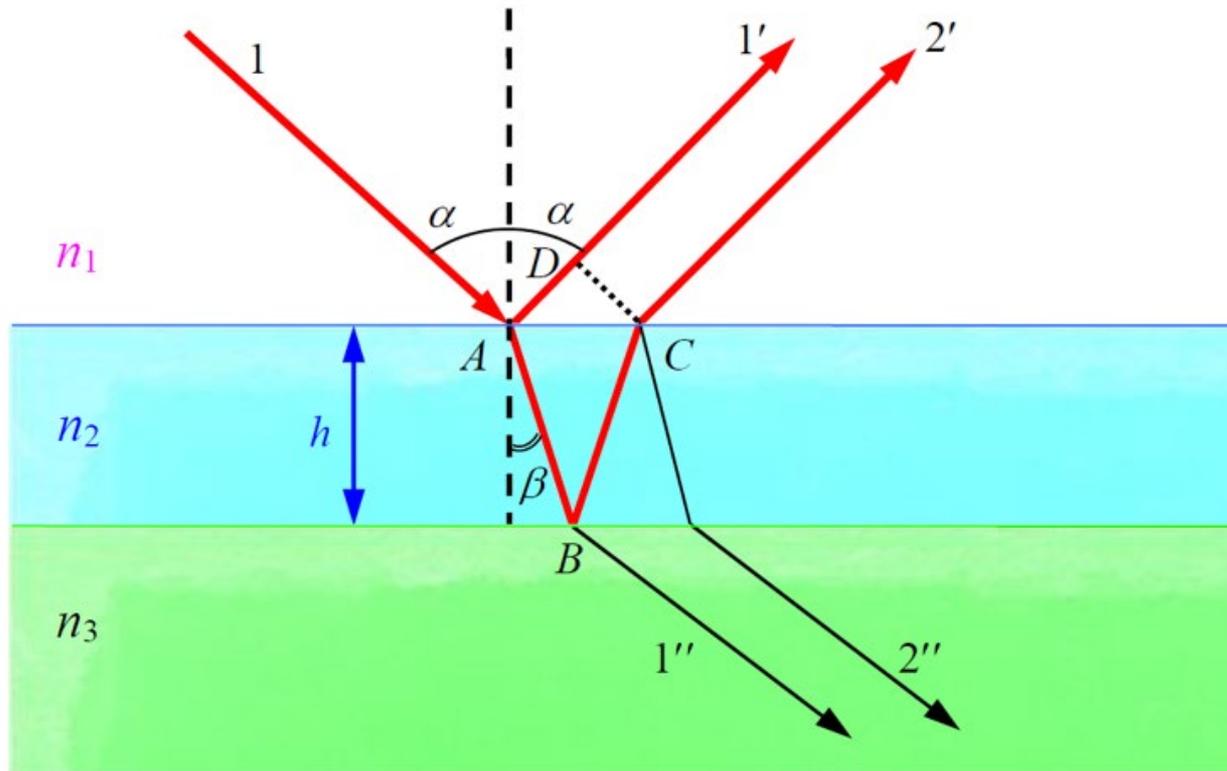
Для получения интерференционных полос от двух источников света (щелей) недостаточно, чтобы эти источники состояли из попарно когерентных точечных источников

Даже в случае строго монохроматических волн необходимо, чтобы размеры источников не превосходили определенного предела, зависящего от взаимного расположения и расстояния между ними, а также от положения экрана

Два источника, размеры и взаимное расположение которых позволяют наблюдать интерференционные полосы, называются *пространственно когерентными*

Интерференция в тонких плёнках

”Случай ” $n_1 < n_2 < n_3$

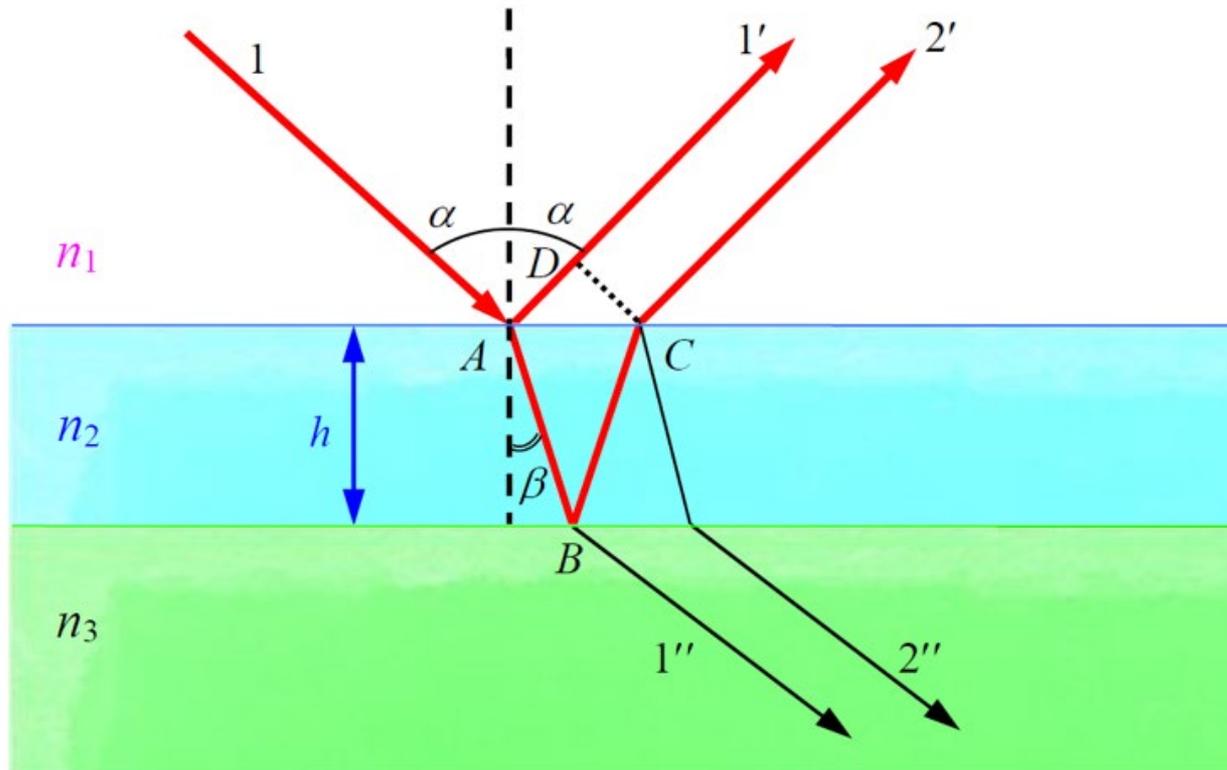


При наблюдении интерференции в отраженном свете геометрическая разность хода волн 1' и 2'

$$\Delta r = (AB + BC) - AD$$

Интерференция в тонких плёнках

”Случай ” $n_1 < n_2 < n_3$

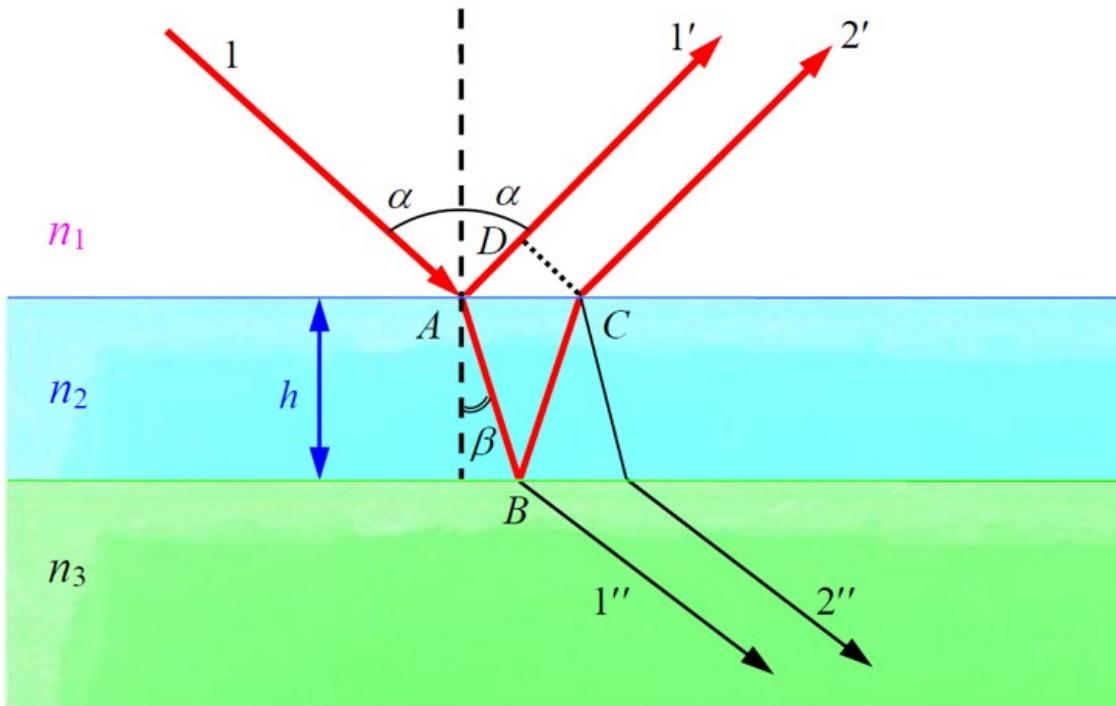


Оптическая разность хода волн $1'$ и $2'$

$$\Delta = (AB + BC) \cdot n_2 - AD \cdot n_1$$

Интерференция в тонких плёнках

”Случай ” $n_1 < n_2 < n_3$



Из рисунка видно, что

$$\frac{h}{AB} = \cos \beta;$$

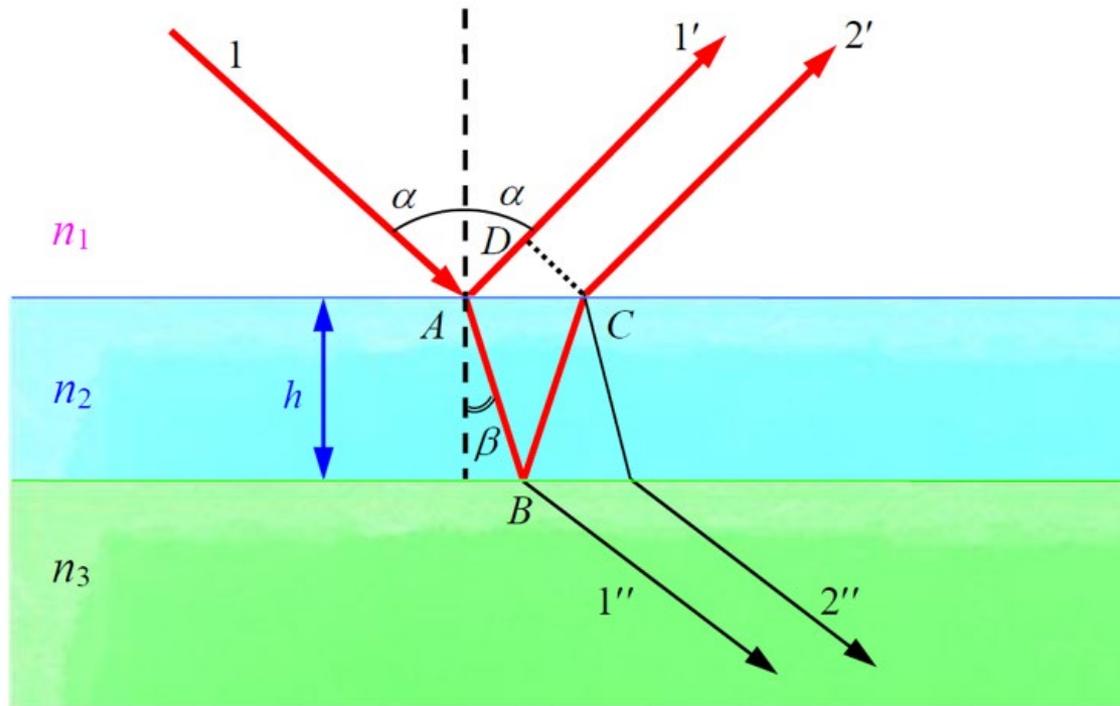
$$AC = 2h \cdot \operatorname{tg} \beta;$$

$$AD = AC \cdot \sin \alpha;$$

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta.$$

Интерференция в тонких плёнках

”Случай ” $n_1 < n_2 < n_3$

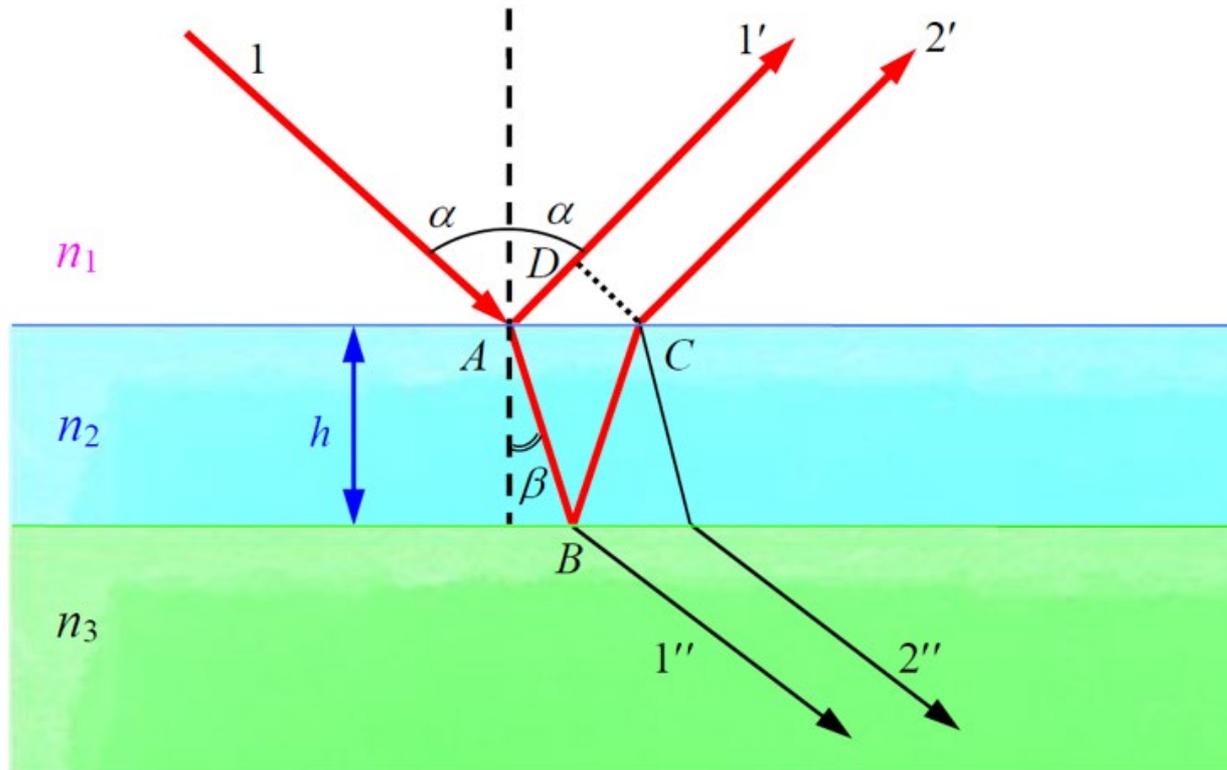


После подстановки в формулу для оптической разности хода получим

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

Интерференция в тонких плёнках

”Случай ” $n_1 < n_2 < n_3$

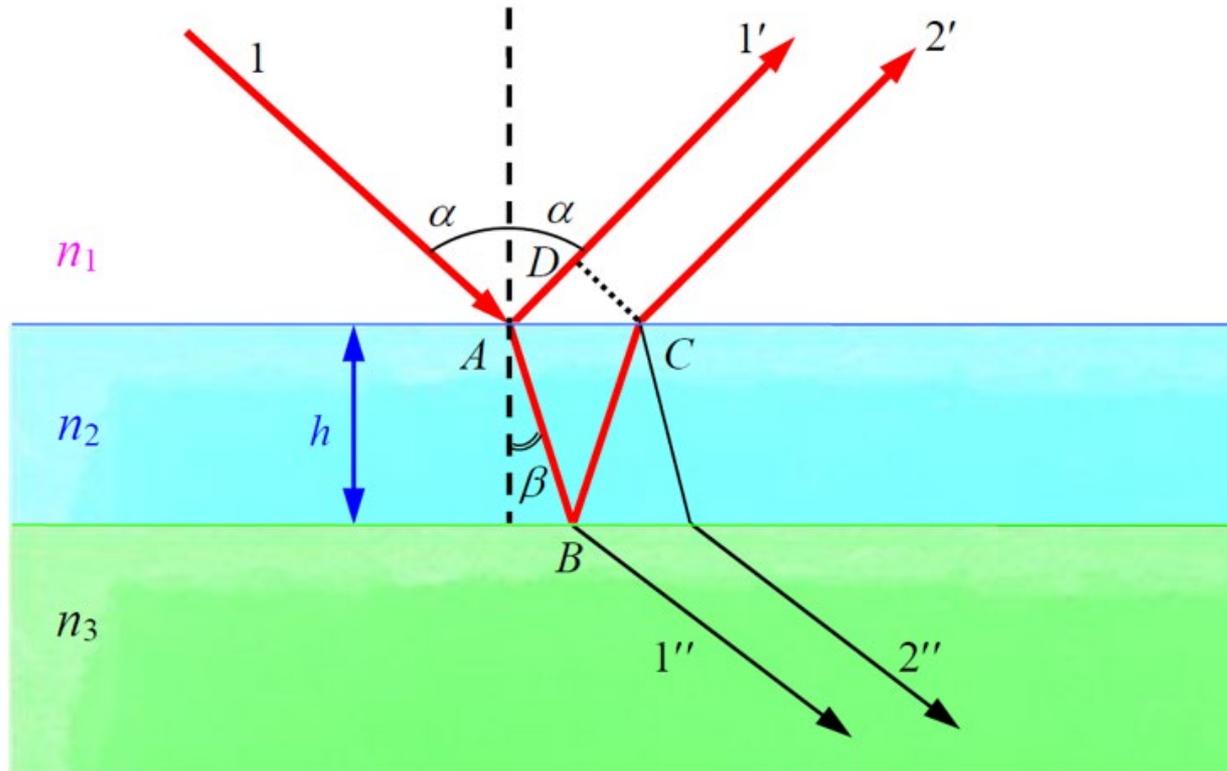


Условие максимума интерференции в отражённом свете

$$2h \cdot n_2 \cdot \cos \beta = m \cdot \lambda_0, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Интерференция в тонких плёнках

”Случай ” $n_1 < n_2 < n_3$



Условие минимума интерференции в отражённом свете

$$2h \cdot n_2 \cdot \cos \beta = (m + 1/2) \lambda_0, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Интерференция в тонких плёнках

”Другие соотношения ” $n_1 ? n_2 ? n_3$

$n_1 < n_2$ и $n_2 > n_3$ – это случай «свободной плёнки», например, пластинка стекла или плёнка в воздухе

$n_1 > n_2$ и $n_2 < n_3$ – например, в случае воздушного зазора между стеклянными пластинками

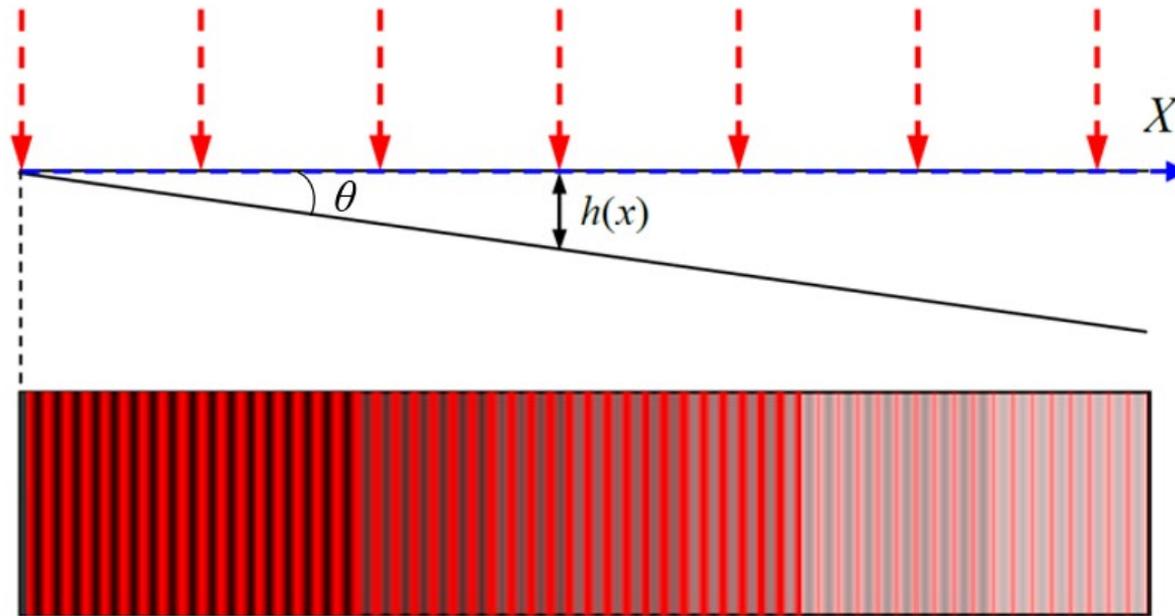
При расчёте оптической разности хода необходимо учесть, что *при отражении от оптически более плотной среды фаза волны меняется на противоположную (на π)*

Оптический путь волны изменяется на $\lambda_0/2$

Условия максимумов и минимумов меняются местами

Интерференция в тонких плёнках

Клиновидная пластинка



Условие максимума интерференции в отражённом свете

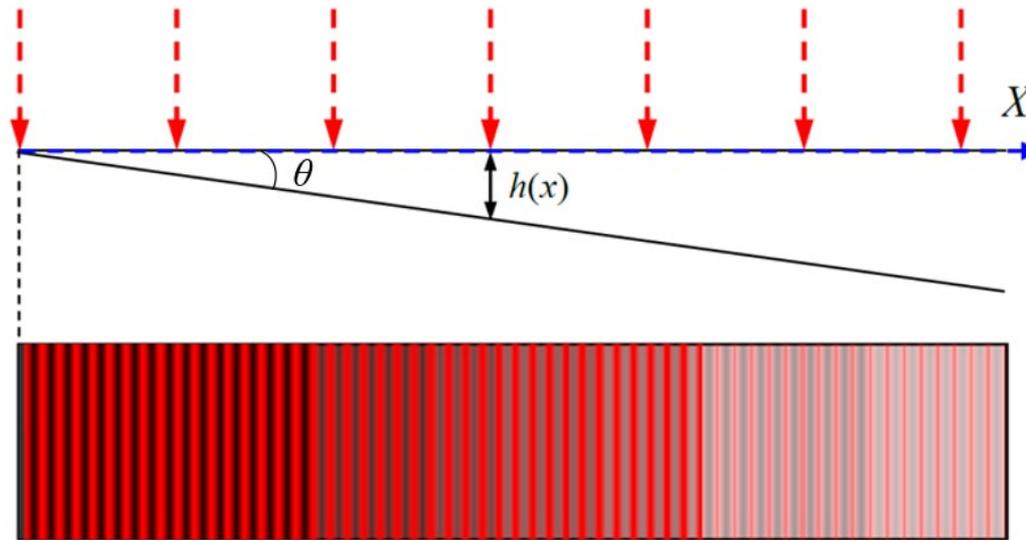
$$2h(x) \cdot n - \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0 \quad , \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Если $h(x) = kx$, то

$$h(x) = \operatorname{tg}\theta \cdot x \quad \text{или} \quad \text{при} \quad \theta \ll 1 \quad h(x) = \theta \cdot x$$

Интерференция в тонких плёнках

Клиновидная пластинка



Расстояния от вершины клина до точек на поверхности его верхней грани, где будут располагаться середины максимумов

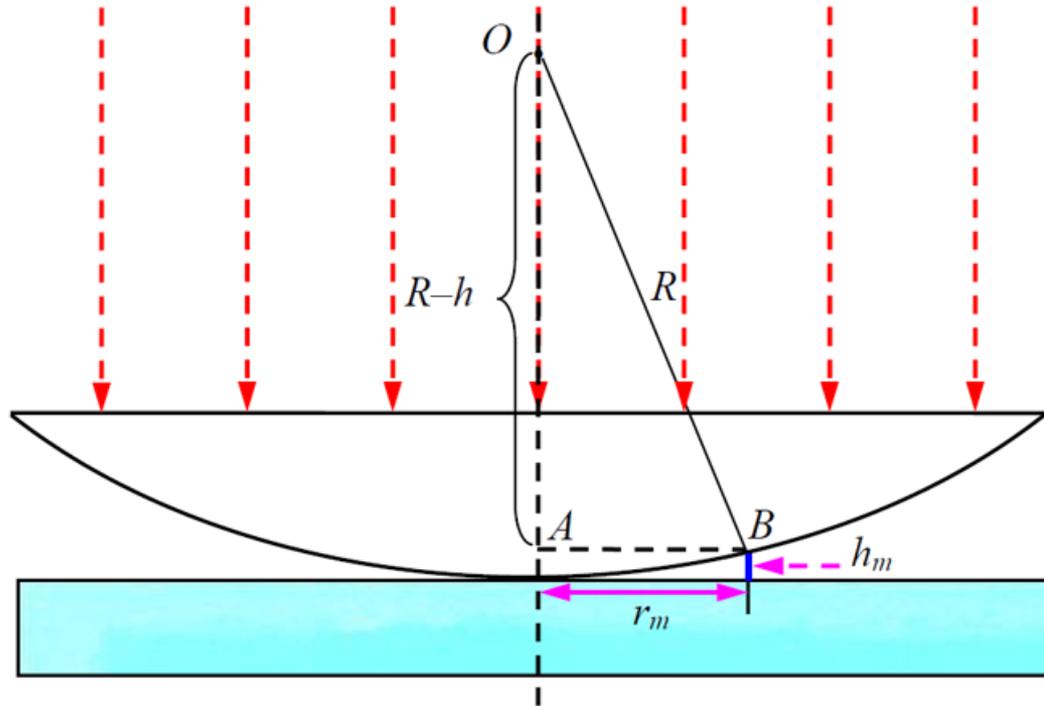
$$x_m = \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_0}{2n\theta} \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Ширина интерференционной полосы

$$\Delta x = \frac{\lambda_0}{2n\theta}.$$

Интерференция в тонких плёнках

Кольца Ньютона



Условие максимума интерференции в отражённом свете

$$2h_m - \lambda_0/2 = m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

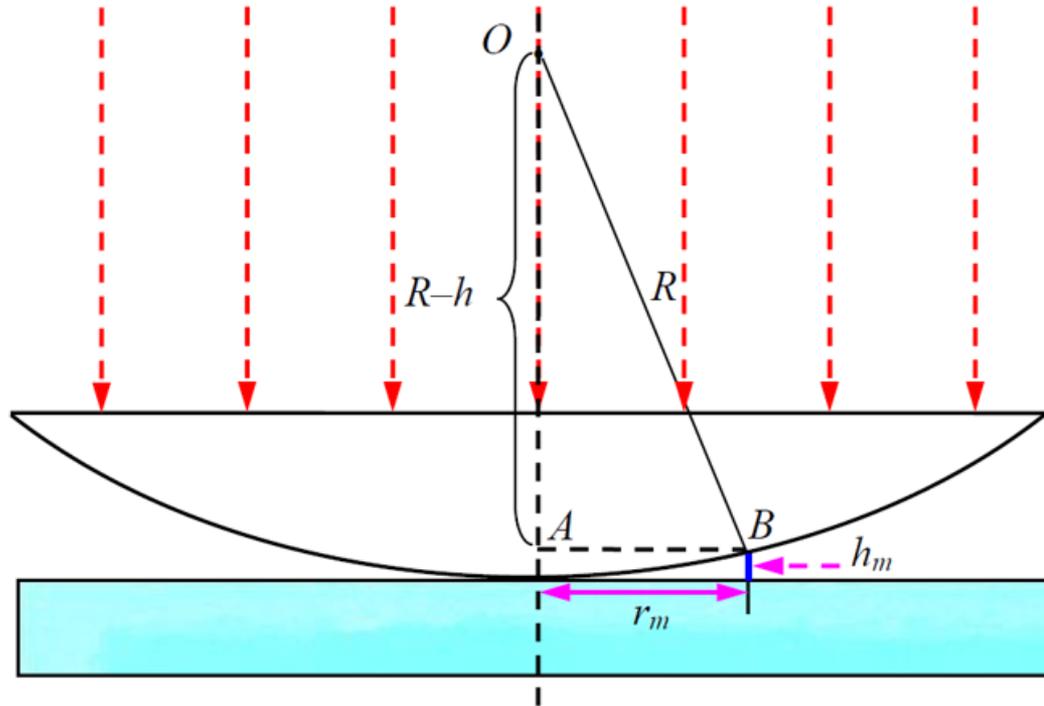
Если $h \ll r_m$, то из теоремы Пифагора для треугольника

OAB находим

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

Интерференция в тонких плёнках

Кольца Ньютона



Радиусы светлых колец

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

$$m = 0, 1, 2, \dots$$