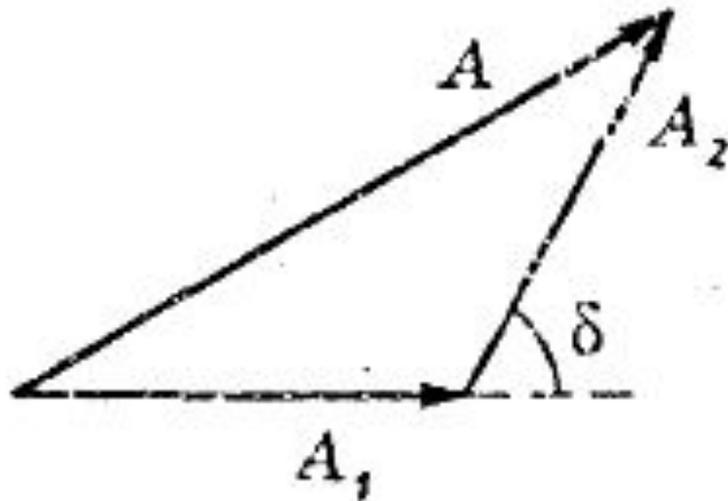


Интерференция световых волн. Когерентность.



$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \delta.$$

Если разность фаз δ постоянна во времени, то такие колебания (и волны) называют когерентными. В случае суперпозиции когерентных волн интенсивность результирующего колебания равна

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cos \delta.$$

Основной принцип интерференционных схем

Если разность хода световых волн от источника до точки наблюдения не превышает некоторой характерной длины, называемой длина когерентности, то случайные изменения амплитуды и фазы световых колебаний в двух волнах происходят согласованно (когерентно), и наблюдается интерференционная картина, например система чередующихся светлых и темных полос.

Условие возникновения интерференционных максимумов

$$\Delta = m\lambda, m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm \dots$$

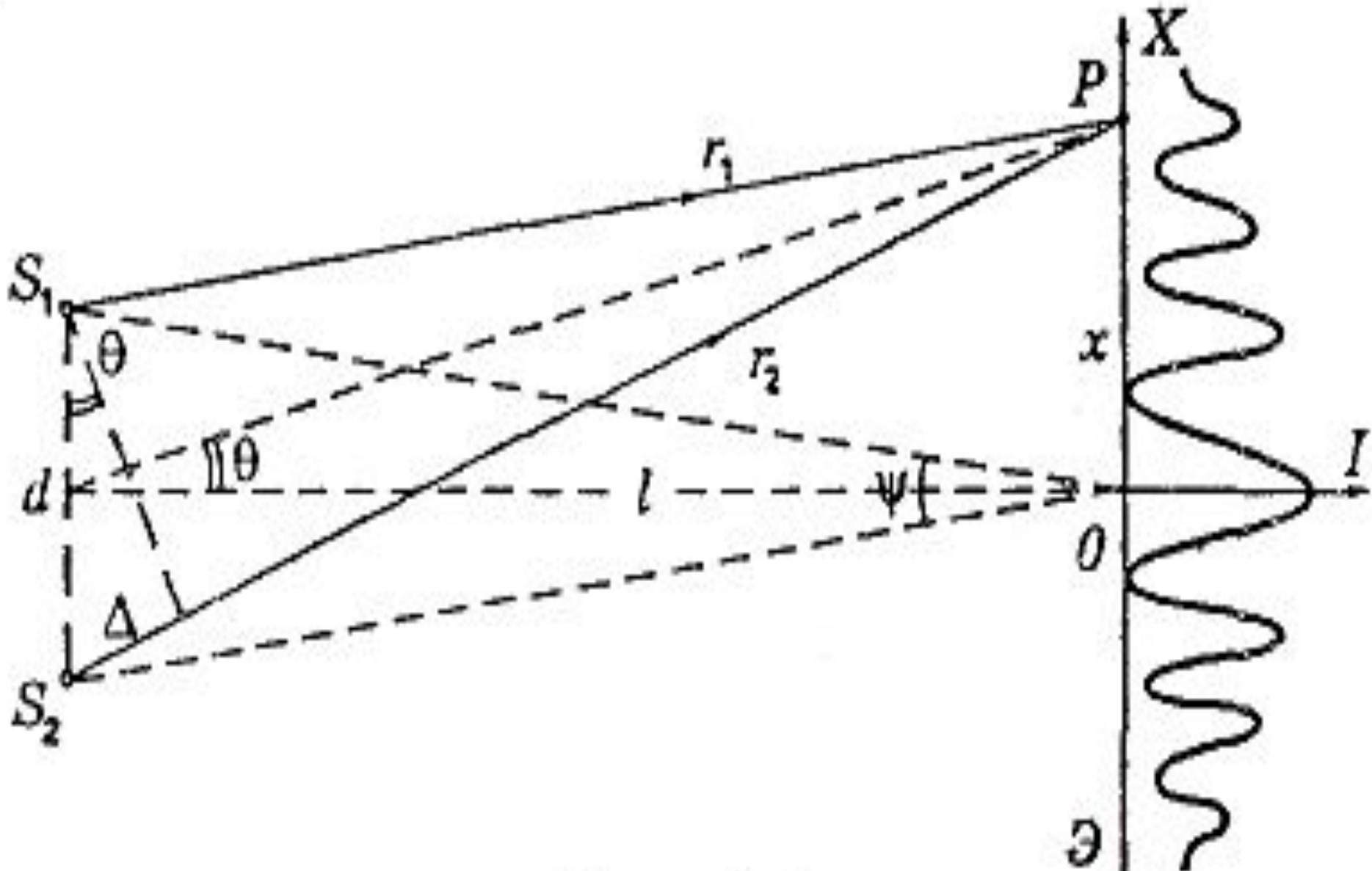
В точках, для которых Δ равно полуцелому числу длин волн, образуются минимумы.

$$\Delta = (2m+1)\lambda/2, m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm \dots$$

В среде с показателем преломления n оптическая разность хода интерферирующих волн:

$$\Delta = n(r_2 - r_1).$$

Ширина интерференционной полосы



Для максимумов $x_m = m\lambda l/d$

При переходе к соседнему максимуму m меняется на единицу и x — на величину Δx , которую называют *шириной интерференционной полосы*

$$\Delta x = \lambda l / d \quad \text{или} \quad \Delta x = \lambda / \Psi \quad ,$$

Ψ — угол, под которым видны оба источника из центра экрана,

$$\Psi = d / l$$

Ширина интерференционных полос $\Delta x \propto \lambda$

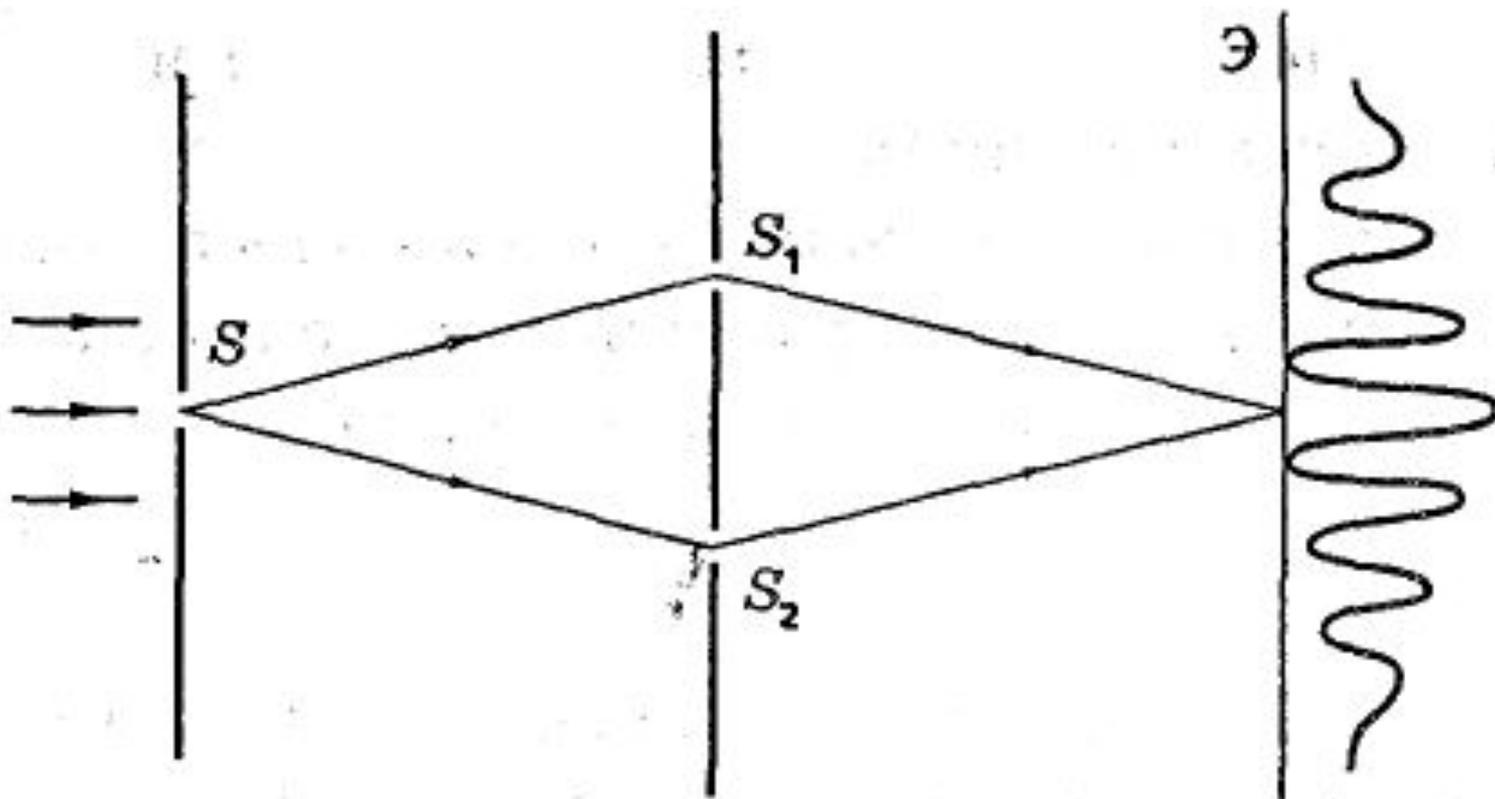
Распределение интенсивности

$$I = I_0 \cos^2 \eta x, \quad \eta = \pi d / l \lambda,$$

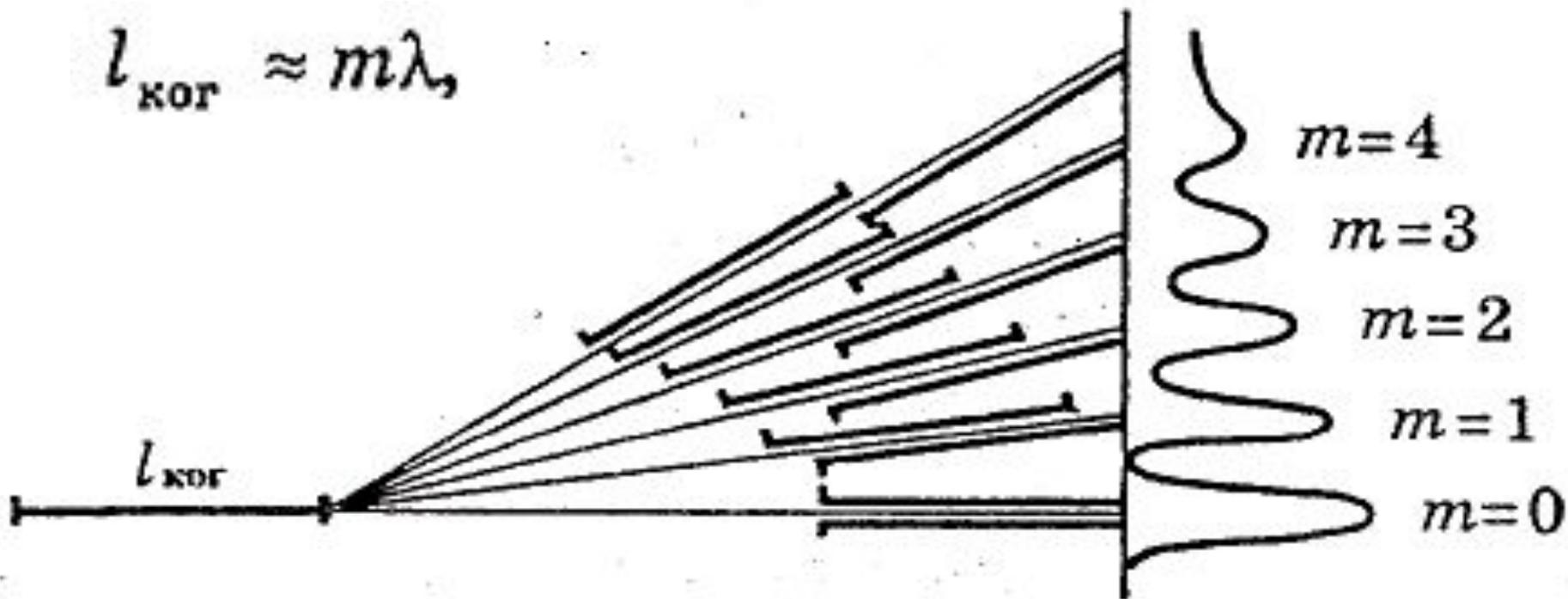
I_0 -интенсивность в максимумах, в минимумах - $I=0$

При интерференции различают *длину и ширину когерентности*..

Опыт Юнга



Длина когерентности



m -максимальный порядок интерференции, соответствующий еще видимой светлой полосе.

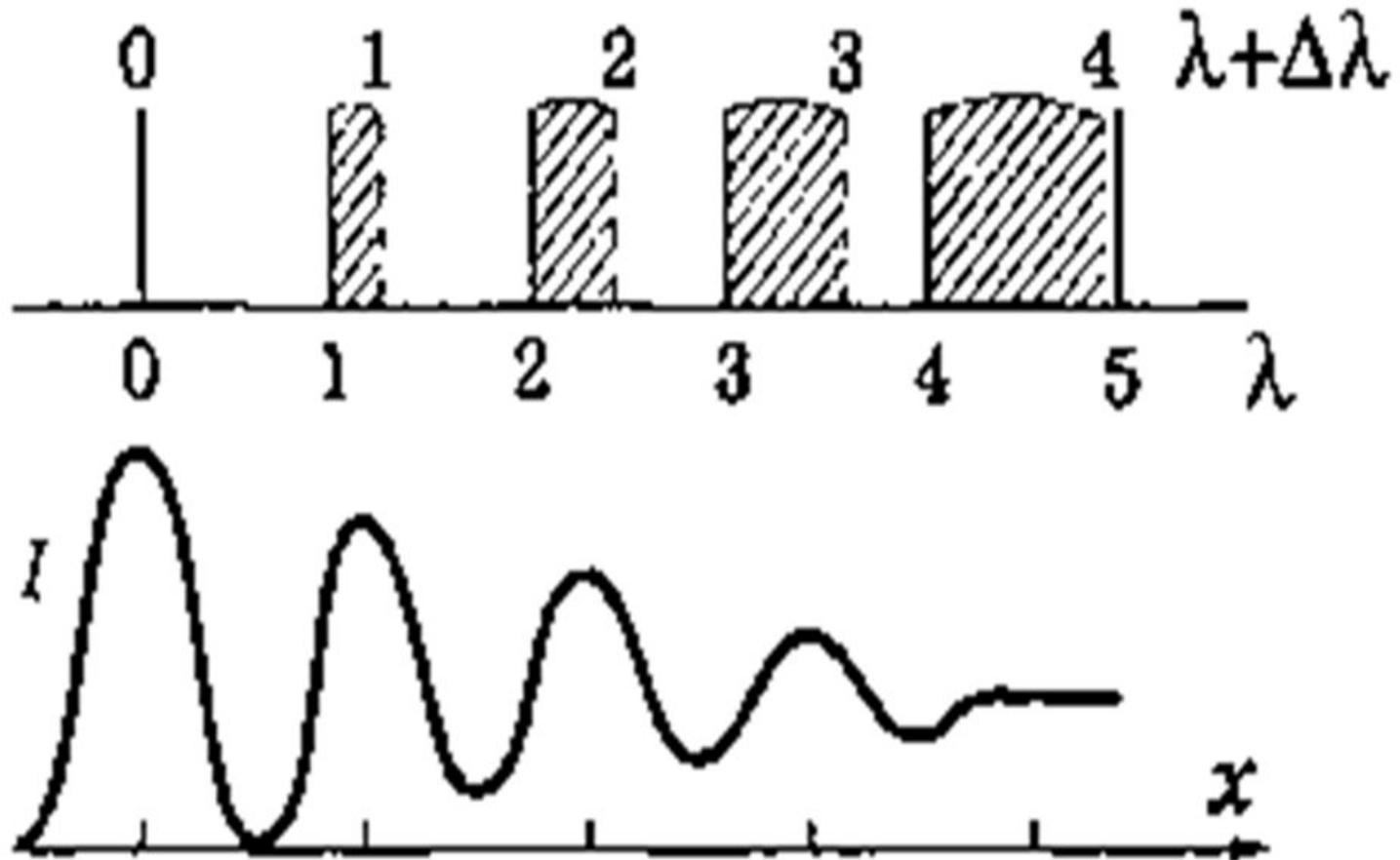
$$l_{\text{ког}} \approx 5\lambda$$

Для солнечного света $l_{\text{ког}} \approx 5\lambda$

Для лучших (не лазерных) источников света удалось получить $\boxtimes_{\text{ког}}$ порядка нескольких десятков сантиметров.

Лазеры позволили получить излучение $\boxtimes_{\text{ког}}$ порядка сотен метров (и даже нескольких километров!).

На рисунке положения максимумов для длин волн, соответствующих крайним значениям спектрального интервала ($\lambda, \lambda + \Delta\lambda$) показаны сплошными отрезками — для λ и пунктирными для $\lambda + \Delta\lambda$.



Максимумы от промежуточных длин волн заполняют интервал между крайними максимумами каждого порядка интерференции. В результате промежуточные максимумы, как видно из рисунка, будут постепенно заполнять интервал между максимумами соседних порядков для λ и $\lambda + \Delta\lambda$. Результирующие максимумы (нижняя часть рисунка) будут постепенно размываться, и полосы интерференции исчезнут.

Из рисунка видно, что полосы исчезнут там, где

$$m(\lambda + \Delta\lambda) \approx (m + 1)\lambda,$$

здесь m — предельный порядок интерференции, начиная с которого полосы исчезают. Отсюда

$$m \approx \lambda / \Delta\lambda$$

Величина $\lambda / \Delta\lambda$ характеризует *степень монохроматичности* света: чем она больше, тем больше и степень монохроматичности.

Значение m связано с длиной когерентности как

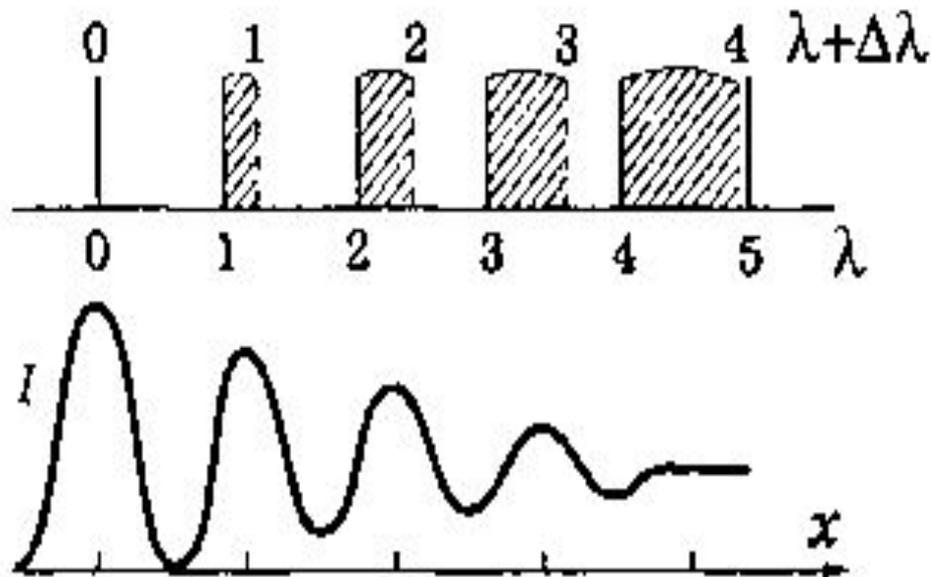
$$l_{\text{ког}} \approx m\lambda$$

Отсюда следует, что

$$l_{\text{ког}} \approx \lambda^2 / \Delta\lambda$$

Здесь m — предельный порядок интерференции, начиная с которого полосы исчезают. Отсюда

$$m \approx \lambda / \Delta\lambda$$



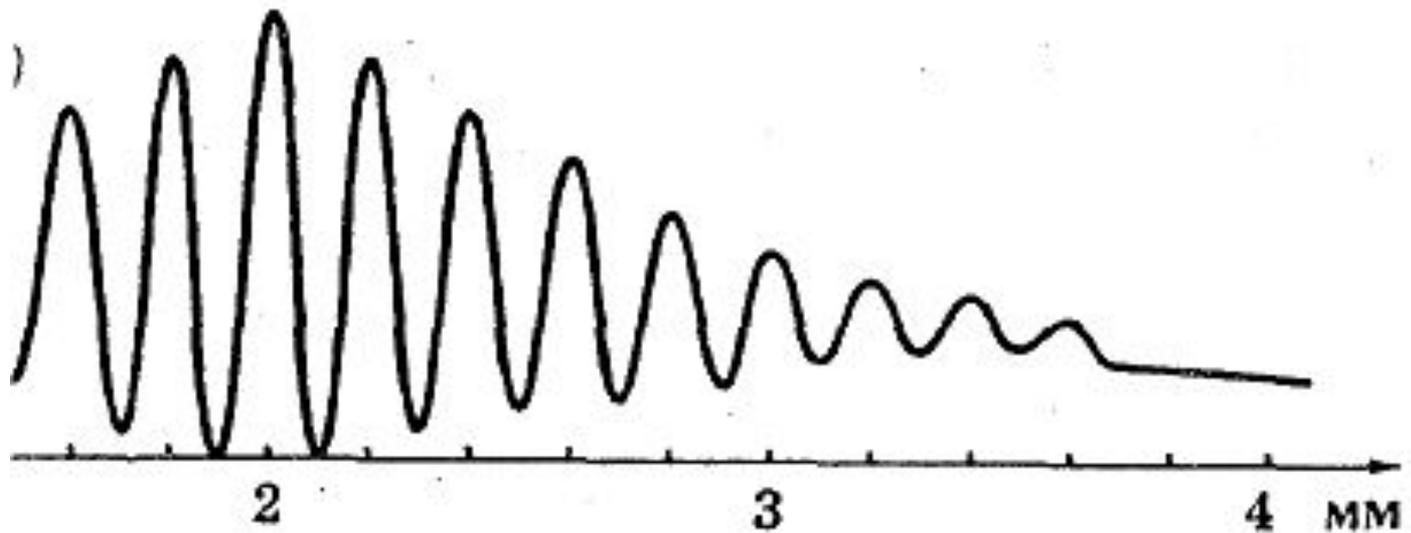
$\lambda / \Delta\lambda$ степень монохроматичности света

Найденное значение m связано с длиной когерентности как

$$l_{\text{ког}} \approx m\lambda$$

Отсюда следует, что

$$l_{\text{ког}} \approx \lambda^2 / \Delta\lambda$$



На этом рисунке показана часть симметричного распределения интенсивности в интерференционной картине от двух щелей (аналог опыта Юнга). Длина волны используемого света $0,5$ мкм. Ширина интерференционной полосы $\Delta x = 0,2$ мм.

Угловое расстояние $\psi \approx \lambda/\Delta x = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм} / 0,2 \text{ мм} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ рад.

Наибольшему максимуму соответствует $m = 0$ (третий максимум слева). Следующих максимумов (порядков интерференции), как видно из рисунка, равно 8. Значит длина когерентности $l_{\text{ког}} \approx m\lambda = 8 \cdot 0,5 \text{ мкм} = 4,0 \text{ мкм}$.

Наибольшему максимуму соответствует $m = 0$ (третий максимум слева). Следующих максимумов (порядков интерференции), как видно из рисунка, 8. Значит длина когерентности

$$l_{\text{ког}} \approx m\lambda = 8 \cdot 0,5 \text{ мкм} = 4,0 \text{ мкм}.$$

Для получения интерференционной картины необходимо, чтобы оптическая разность хода складываемых колебаний была меньше длины когерентности:

$$\Delta < l_{\text{ког}}.$$

Длина когерентности связана с *временем когерентности* τ – промежутком времени, в течение которого случайные изменения фазы световой волны в данной точке значения π . За это время волна распространяется на расстояние

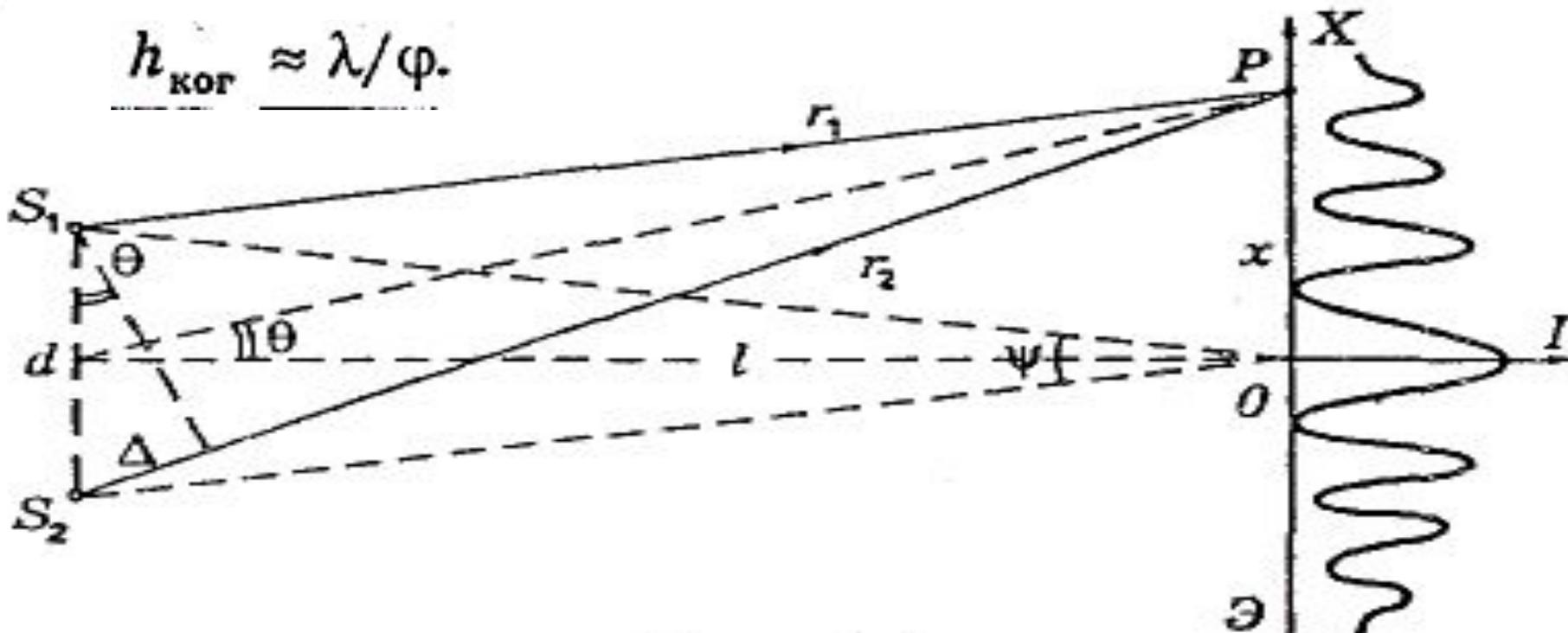
$$l_{\text{ког}} = c\tau_{\text{ког}}$$

Ширина когерентности.

φ - угловая ширина щели S относительно диафрагмы с двумя щелями

$$h_{\text{ког}} \approx d = \lambda l / \Delta x \approx \lambda l / s = \lambda / (s/l) = \lambda / \varphi,$$

$$h_{\text{ког}} \approx \lambda / \varphi.$$



$$l_{\text{ког}} \geq 2\Delta,$$

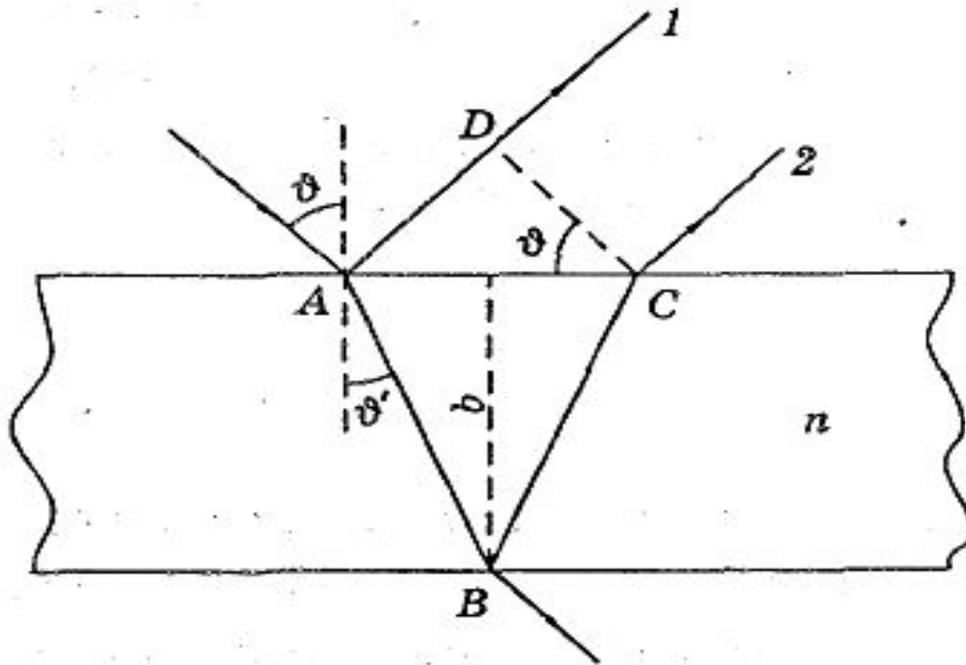
Условия наблюдения устойчивой интерференционной картины с достаточно хорошей видностью полос.

$$h_{\text{ког}} \geq 2d.$$

Интерференционные схемы

Интерференция света при отражении от тонких пластинок

Плоскопараллельная тонкая пластинка



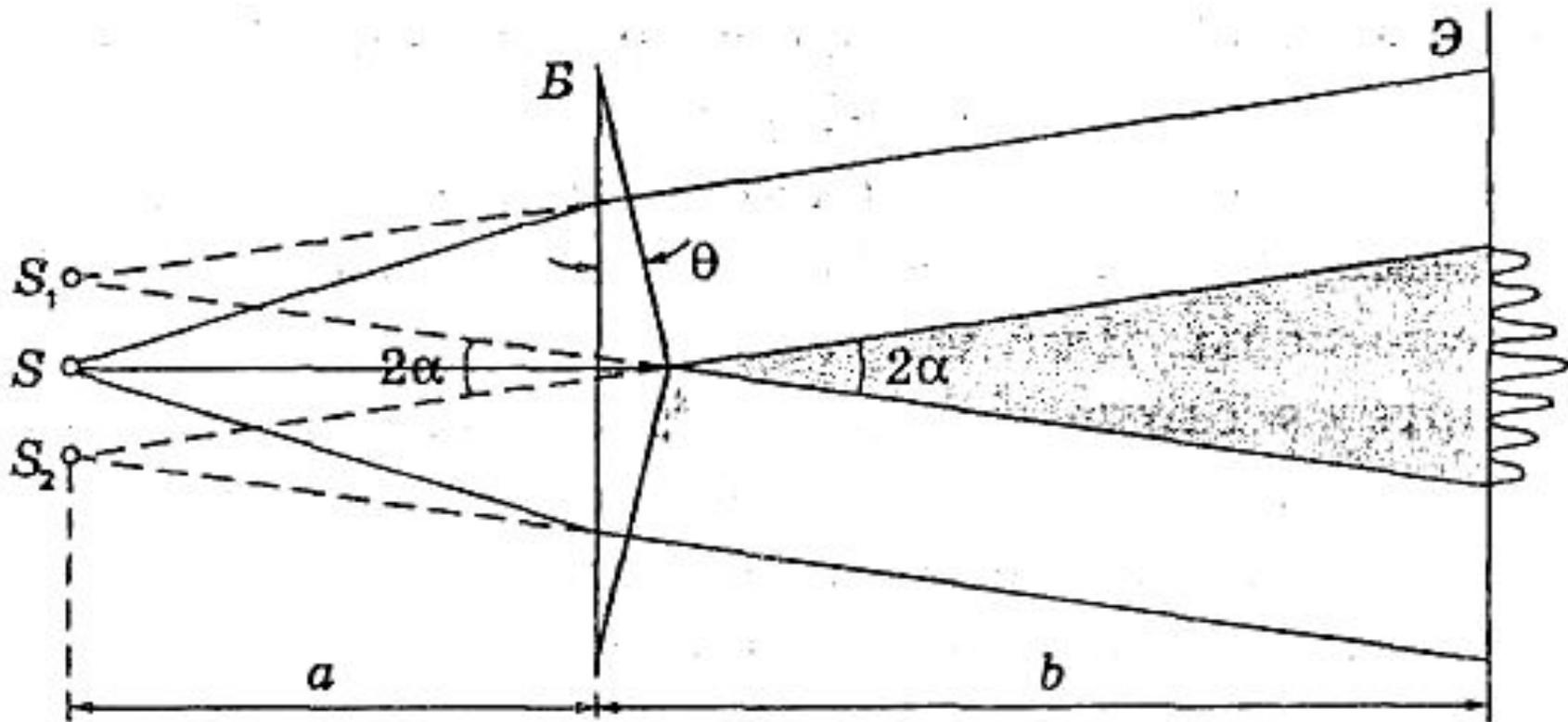
Оптическая разность хода волн 1 и 2

$$\Delta = 2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta} - \lambda/2$$

Максимумы отражения наблюдаются при условии,

$$2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta} - \lambda/2 = m\lambda,$$

Бипризма Френеля. Интерференционные схемы



Ширина интерференционных полос

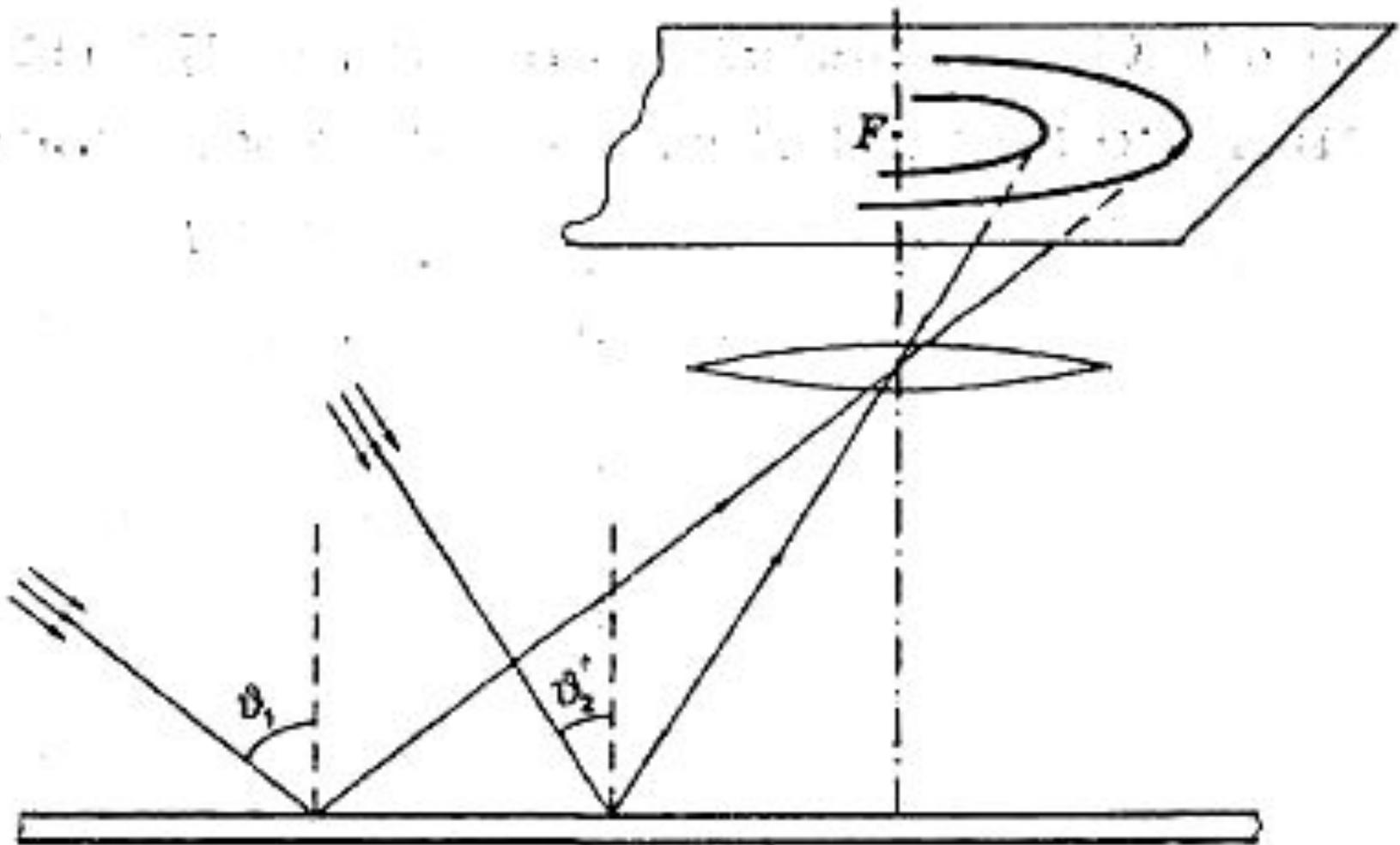
$$\Delta x = \frac{\lambda}{2\alpha} \left(1 + \frac{b}{a} \right)$$

Максимальное число N - число
возможных полос интерференции
на экране

$$N_{\text{макс}} = \frac{4\alpha^2}{\lambda} \frac{ab}{a+b}$$

Максимумы на экране располагаются в местах, соответствующих условию:

$$2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta} - \lambda/2 = m\lambda,$$



Полоса данного порядка интерференции обусловлена светом, падающим на пластинку под одним и тем же углом θ , но с разных направлений.

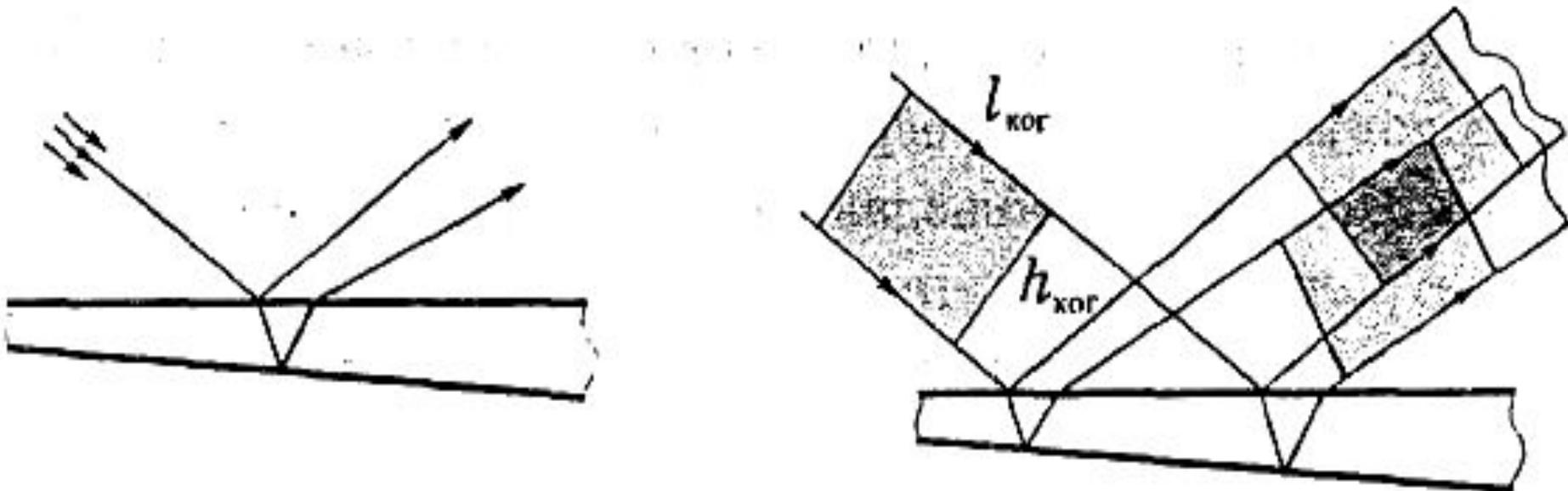
Поэтому такие полосы называют полосами равного наклона.

При расположении линзы как показано на рисунке, эти полосы имеют вид концентрических колец с центром в ее фокусе F .

В белом свете интерференционные полосы окрашены.

Клиновидные пластинки

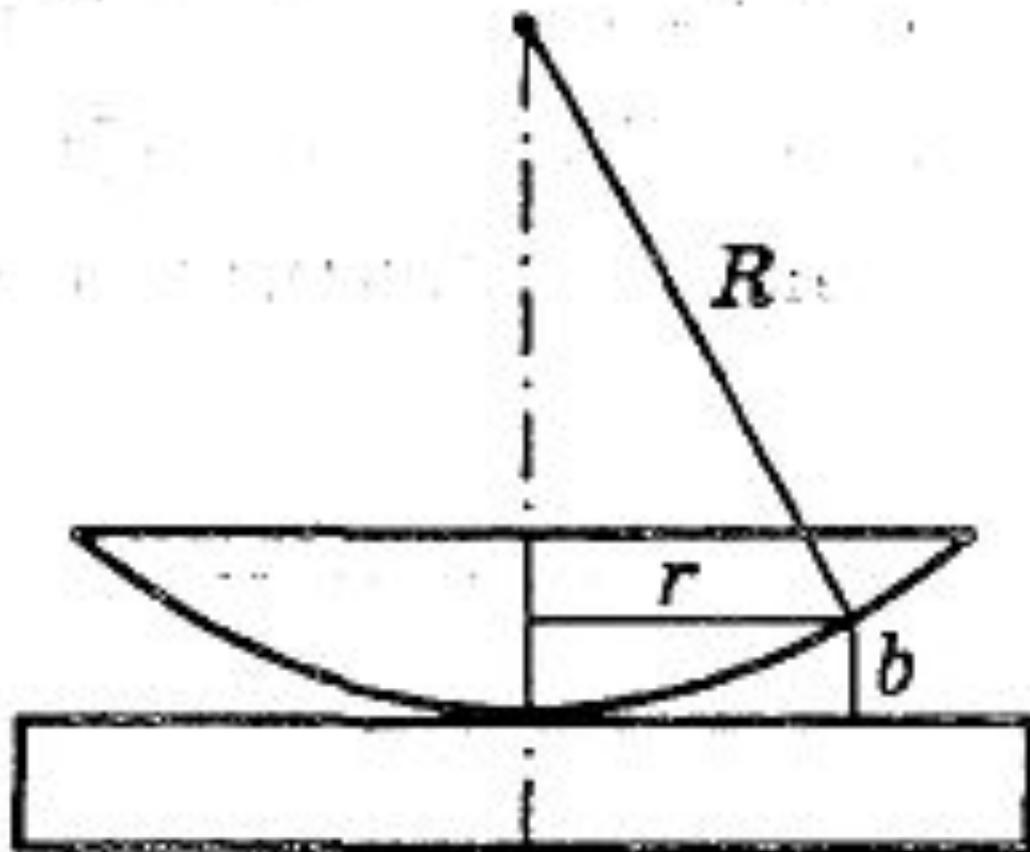
Отраженные от поверхностей клина световые волны распространяются не в одном направлении, а под некоторым углом



Так как разность хода лучей, отразившихся от различных участков клина, неодинакова, в области локализации интерференции появятся светлые и темные полосы, параллельные ребру клина.

Каждая из таких полос возникает в результате отражений от участков клина с одинаковой толщиной, поэтому их называют полосами равной толщины.

Кольца Ньютона — это кольцевые полосы равной толщины, наблюдаемые при отражении света от поверхностей зазора между стеклянной пластинкой и соприкасающейся с ней выпуклой линзой



При нормальном падении света кольца в отраженном свете имеют вид концентрических окружностей с центром в точке соприкосновения линзы с пластинкой.

Радиусы r темных колец (минимумов)

$$r_m = \sqrt{m\lambda R},$$

это следует из условия минимума

$$\Delta = 2b + \lambda/2 = (2m + 1)\lambda/2,$$

Δ - оптическая разность хода волн, отраженных от обеих поверхностей зазора.