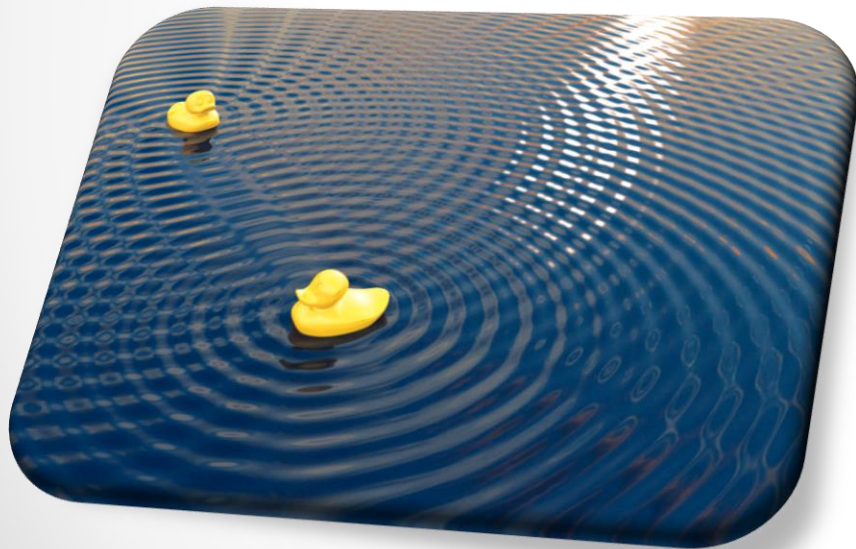


Сегодня: пятница, 23
февраля 2024 г.

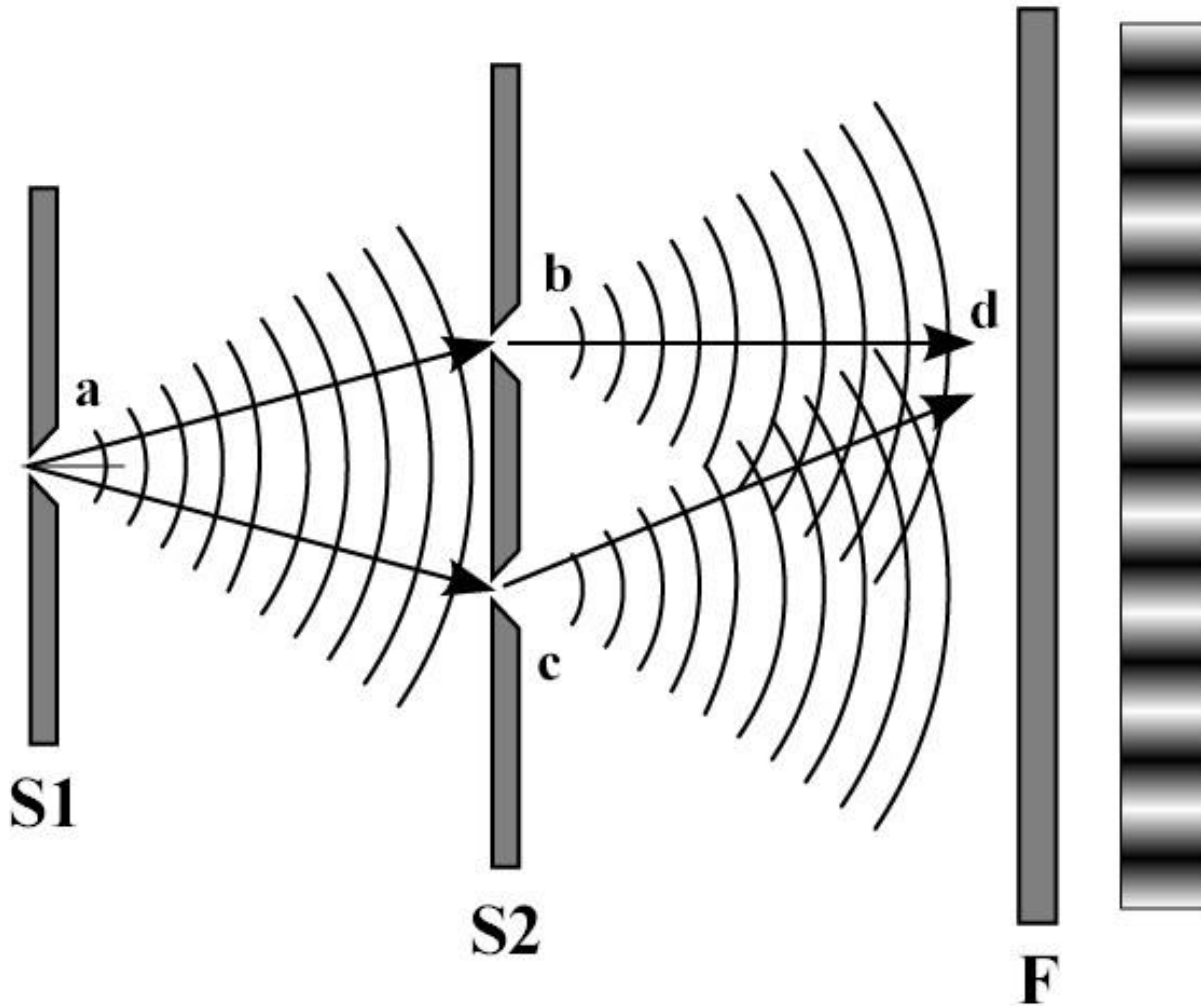
Общая физика
Модуль: Волновая оптика

Лекция 5. Интерференция света



- ✓ Полосы равной толщины
- ✓ Полосы равного наклона
- ✓ Применение интерференции

Опыт Юнга



$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos[(\varphi_{01} - \varphi_{02}) + k(r_2 - r_1)]$$

анализируем распределение интенсивности

$$E_{01} = E_{02} = E_0 = \text{const}$$

$$\varphi_{01} = \varphi_{02} = \varphi_0 = \text{const}$$

Условия интерференции
монохроматических волн

$$I = 2I_0 [1 + \cos k(r_2 - r_1)]$$

Условие интерференционных максимумов

$$\cos k(r_2 - r_1) = 1, \quad I = 4I_0$$

$$k(r_2 - r_1) = 2\pi m$$

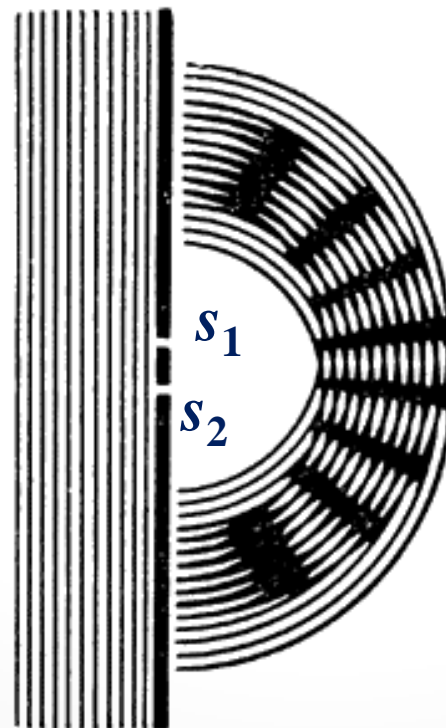
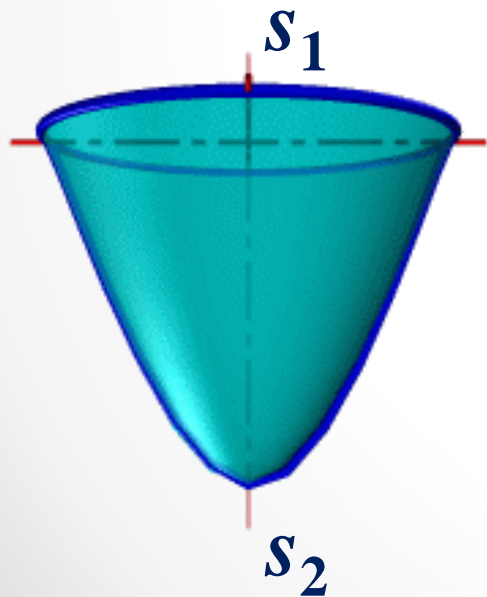
$$\Delta = r_2 - r_1 = \pm m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

m – порядок интерференционного максимума
(порядок интерференции)

Условие

МИНИМУМОВ:

Интерференционные максимумы m -го порядка расположены на параболоиде вращения $r_2 - r_1 = m\lambda$ с осью s_1s_2 .

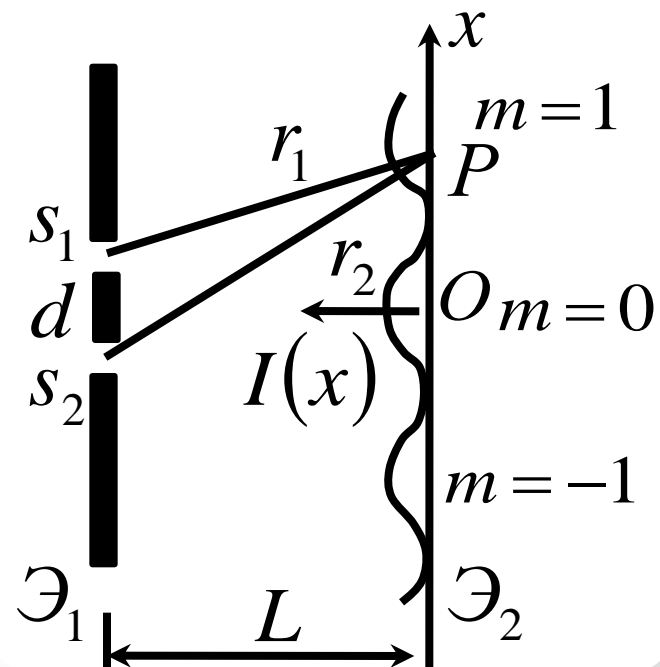


$$\cos k(r_2 - r_1) = -1, \quad I = 0$$

$$k(r_2 - r_1) = 2\pi m + \pi$$

$$\Delta = r_2 - r_1 = \pm \left(m\lambda + \frac{\lambda}{2} \right), \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

На экране практически параллельные полосы – **полосы Юнга** – \perp -ные плоскости рисунка.



Координаты полос интерференции

Интенсивность в O определяется разностью хода, которая в данном случае ($n = 1$) равна геометрической:

$$l_1'^2 = l^2 + \left(x' + \frac{d}{2}\right)^2 \quad \rightarrow$$

$$l_2'^2 - l_1'^2 = 2x'd$$

$$(l_2' - l_1')(l_2' + l_1') = 2x'd$$

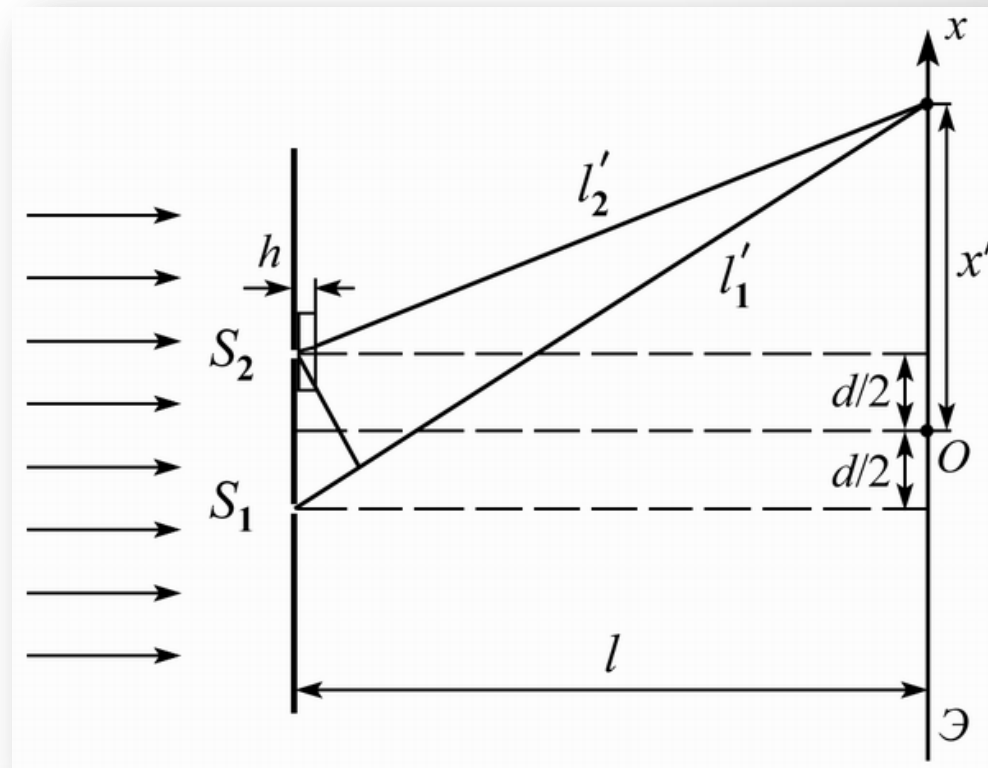
$$l_2'^2 = l^2 + \left(x' - \frac{d}{2}\right)^2$$

$$\Delta = (l_2' - l_1') = \frac{2x'd}{(l_2' + l_1')}$$

Учитываем, что $l \gg d$

$$l_2' + l_1' \approx 2l$$

$$\Delta = \frac{x'd}{l}$$



Используя условия минимумов и максимумов интерференции, определяем координаты

Максимумов:

$$x_{\max} = \pm \frac{m\lambda l}{d}, (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Минимумов:

$$x_{\min} = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda l}{d}, (m = \pm 1, \pm 2, \dots).$$

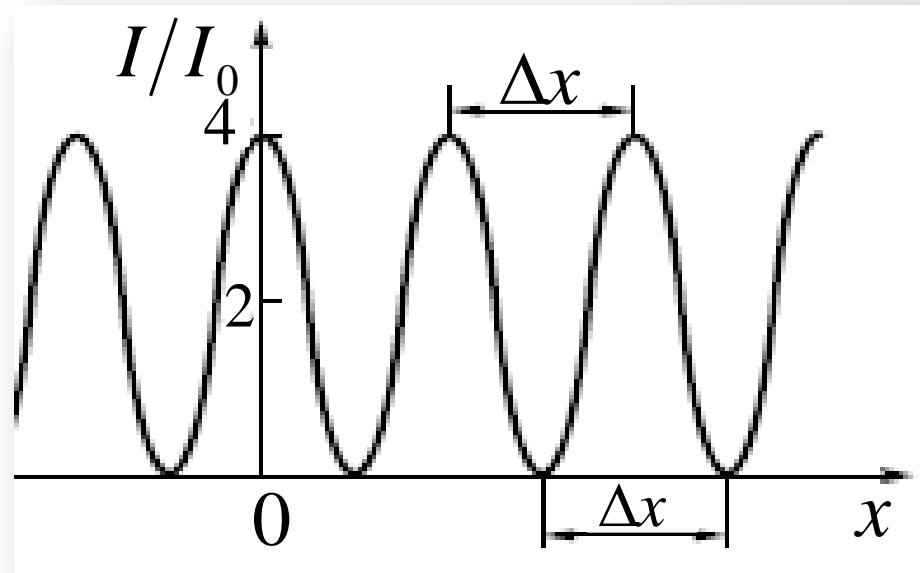
В центре экрана $x = 0$, это возможно только при $m = 0$, т.е. в точке $x = 0$ находится нулевой максимум. Максимумы и минимумы будут располагаться симметрично.

Расстояние между интерференционными максимумами (минимумами)

$$\Delta x = x_{m+1} - x_m = (m+1 - m) \frac{\lambda l}{d} = \frac{\lambda l}{d}$$

Не зависит от порядка m и является постоянной величиной.

Ширина полос увеличивается с уменьшением расстояния между отверстиями и удалением экрана.



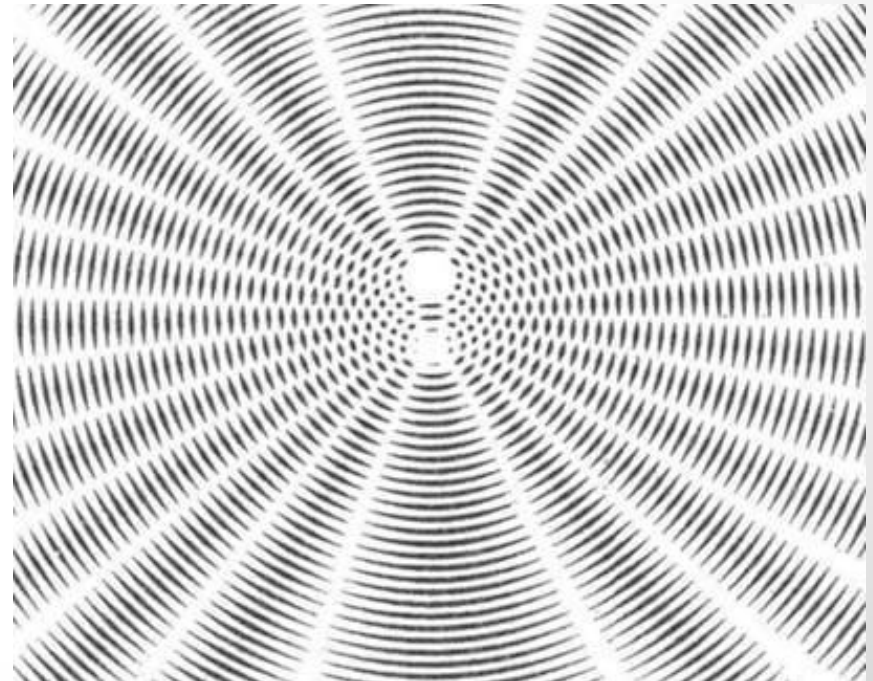
При удалении от центра полосы расширяются, и при m_{max} сольются. При $m > m_{max}$ картина будет полностью смазана.

Оценим m_{max} . Считаем, что в т. Р находится m максимум для λ_2 и $(m + 1)$ максимум для λ_1

$$(r_2 - r_1)_{max} = m_{max} \lambda_2 = (m_{max} + 1) \lambda_1$$

Максимальный порядок интерференции:

$$m_{max} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cong \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda}$$

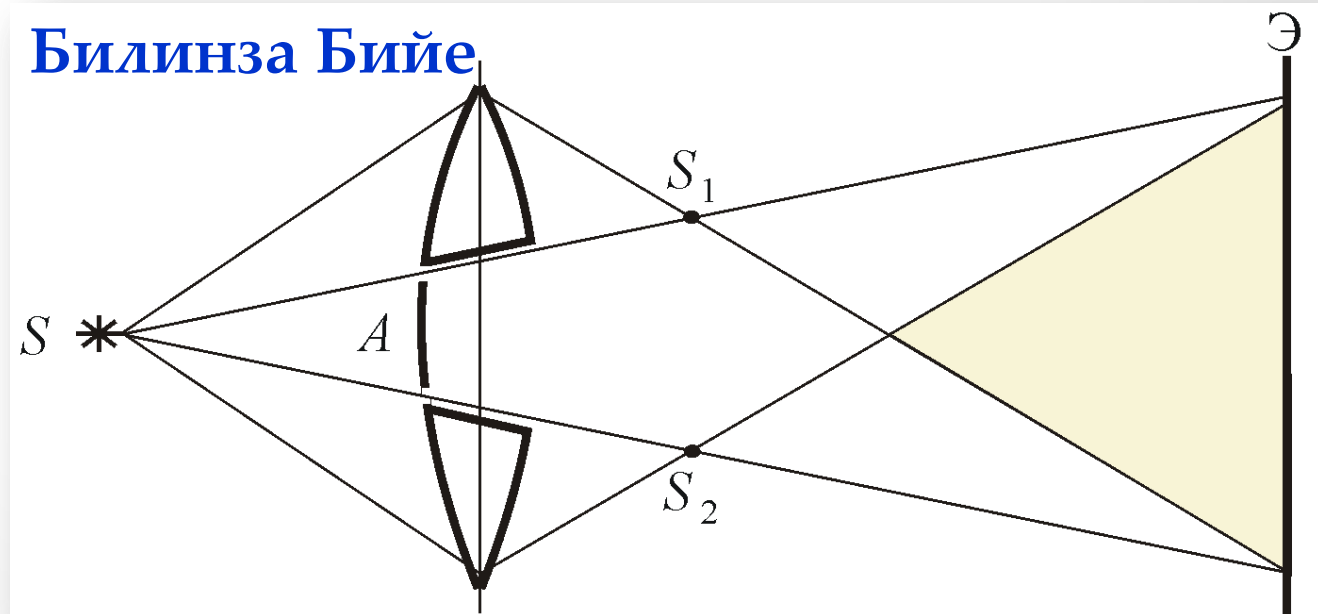


Способы наблюдения интерференции

1. Схемы с делением фронта
2. Схемы с делением амплитуды

Делителями волнового фронта являются:
бипризма, билинза, бизеркала

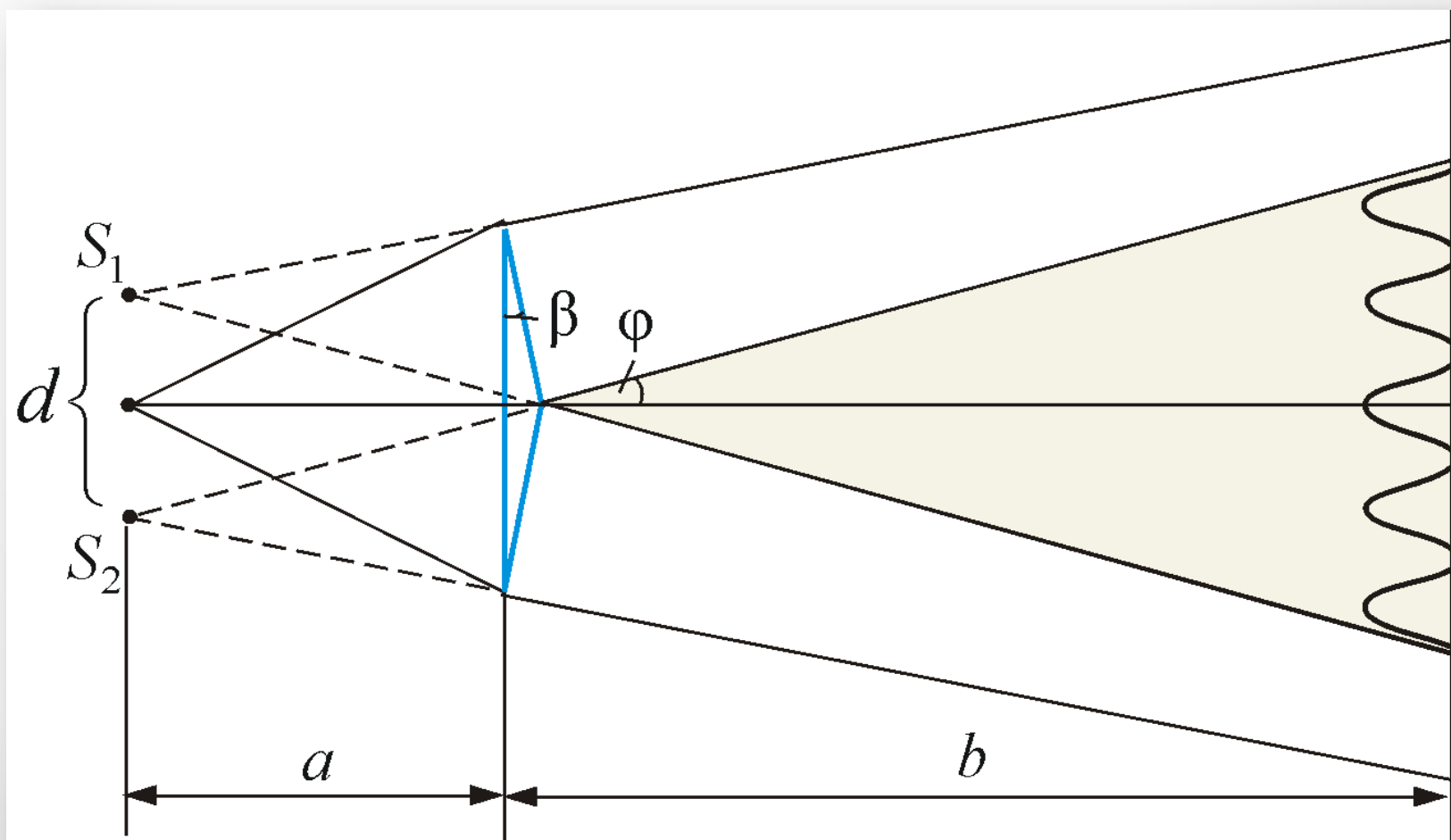
собирающая линза,
разрезанная по
диаметру пополам,
обе половинки
которой
раздвигаются.
Прорезь закрывается
непрозрачным
экраном.



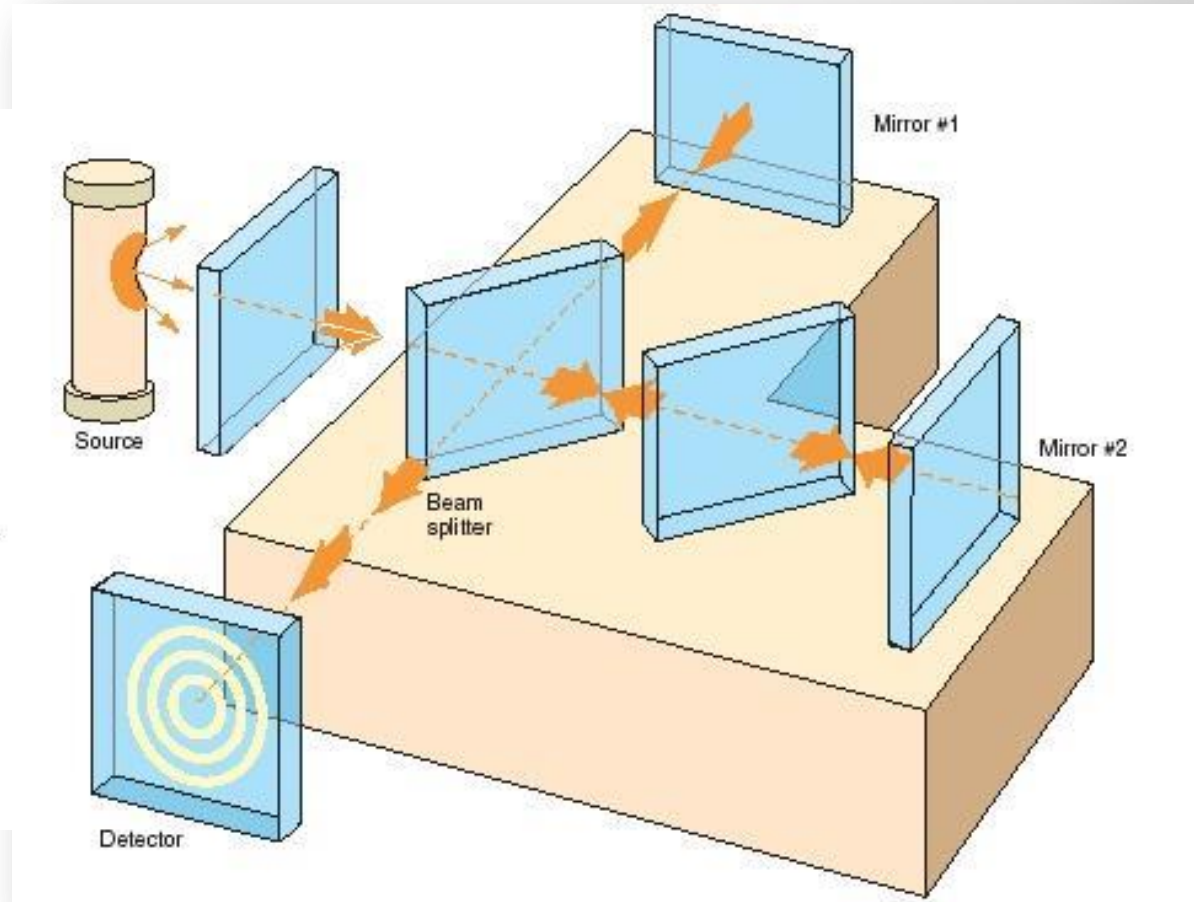
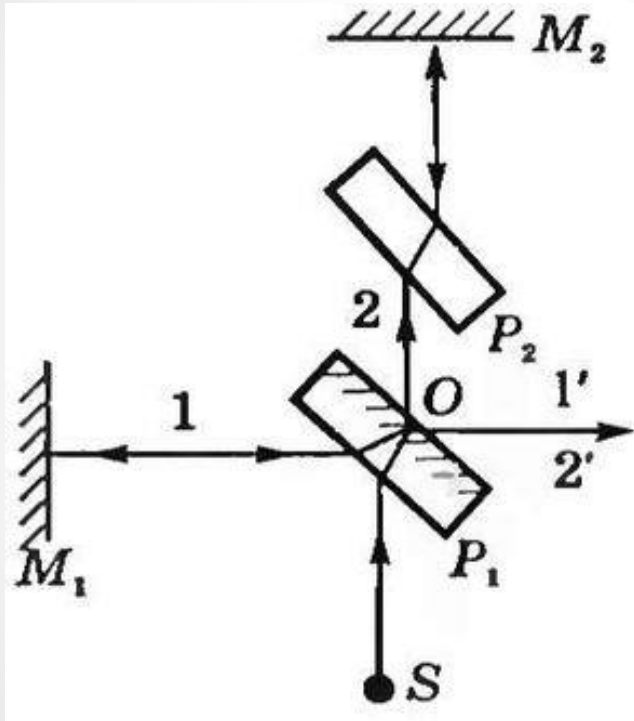
Бипризма Френеля

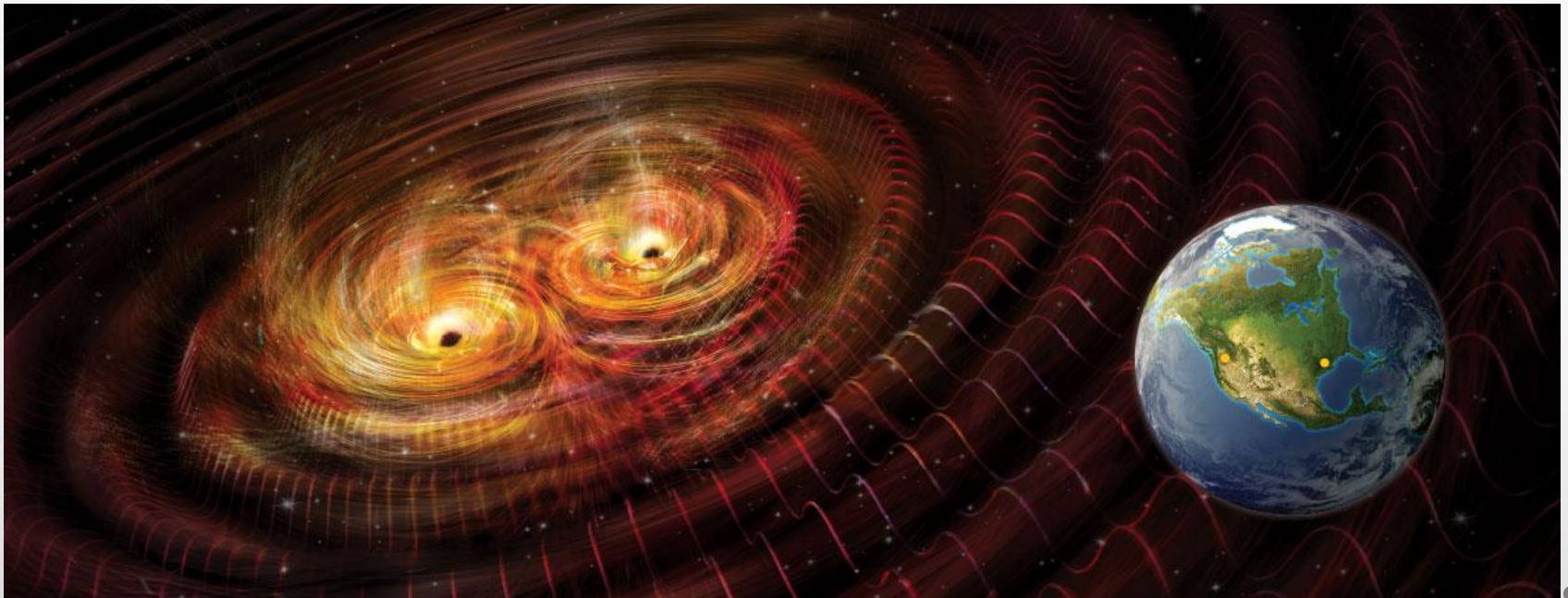
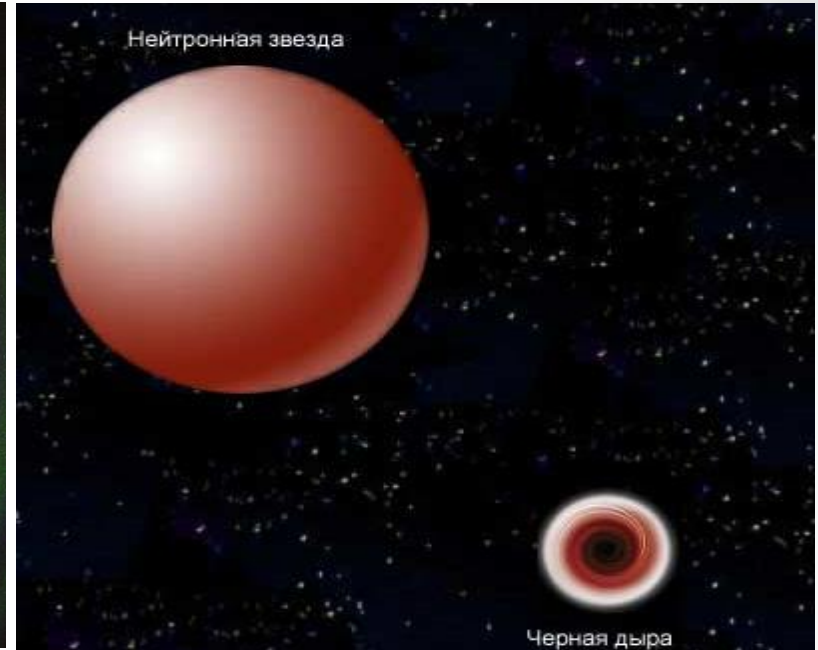
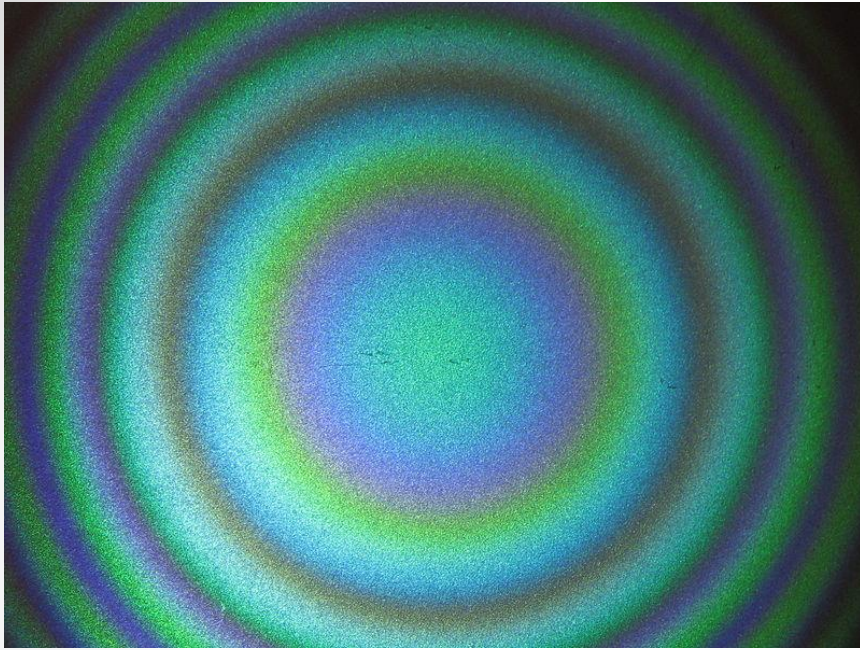
$$\varphi = 2\beta(n-1)$$

две одинаковых треугольных призмы, с малым преломляющим углом, сложенные основаниями



Интерферометр Майкельсона



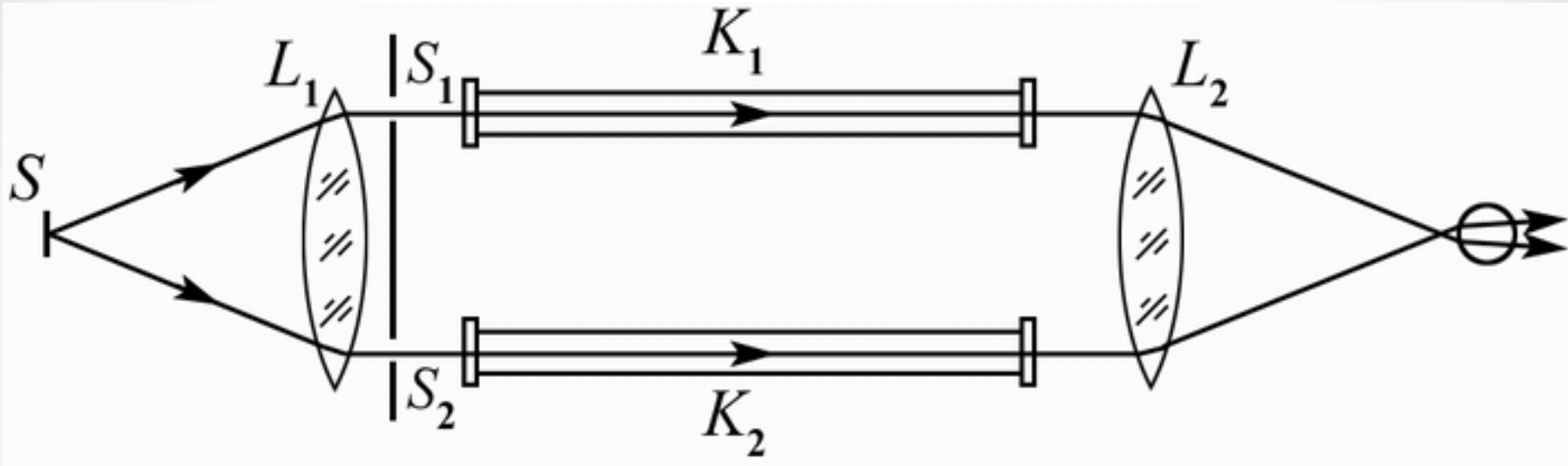


Лазерная гравитационная антенна VIRGO



Схема интерферометра Рэлея

Предназначен для измерения показателя преломления газов



Если исходная разность хода в точке, совпадающем с интерференционным максимумом m порядка $m\lambda$, после заполнения кюветы газом

$$l(n - 1) = \delta m \lambda_0$$

$$\delta m = \frac{1}{40}, l = 1\text{м}, \lambda_0 = 500\text{нм} \Rightarrow n - 1 = \frac{\delta m \lambda_0}{l} = 10^{-8}$$

Интерферометр Жамена

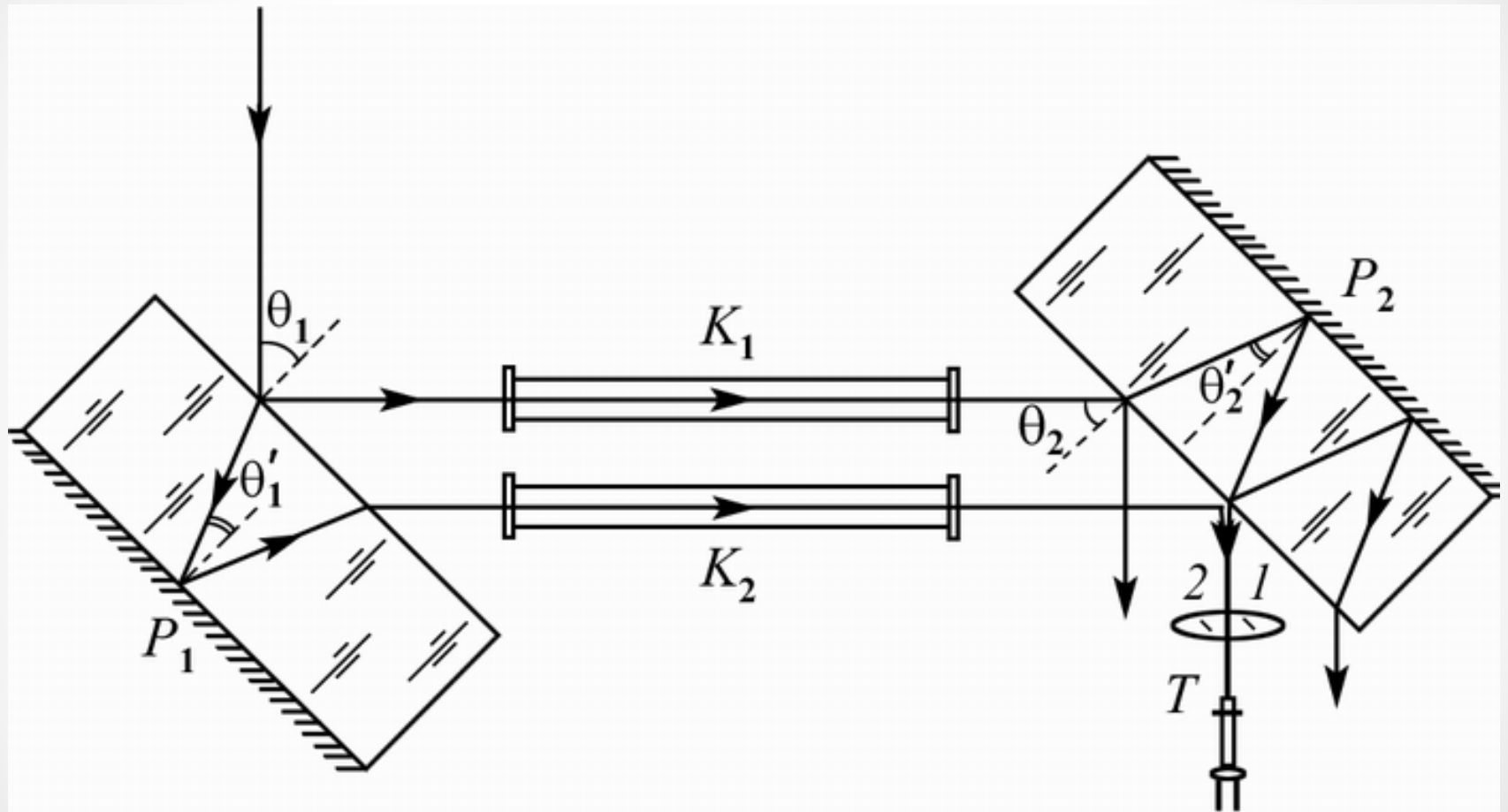
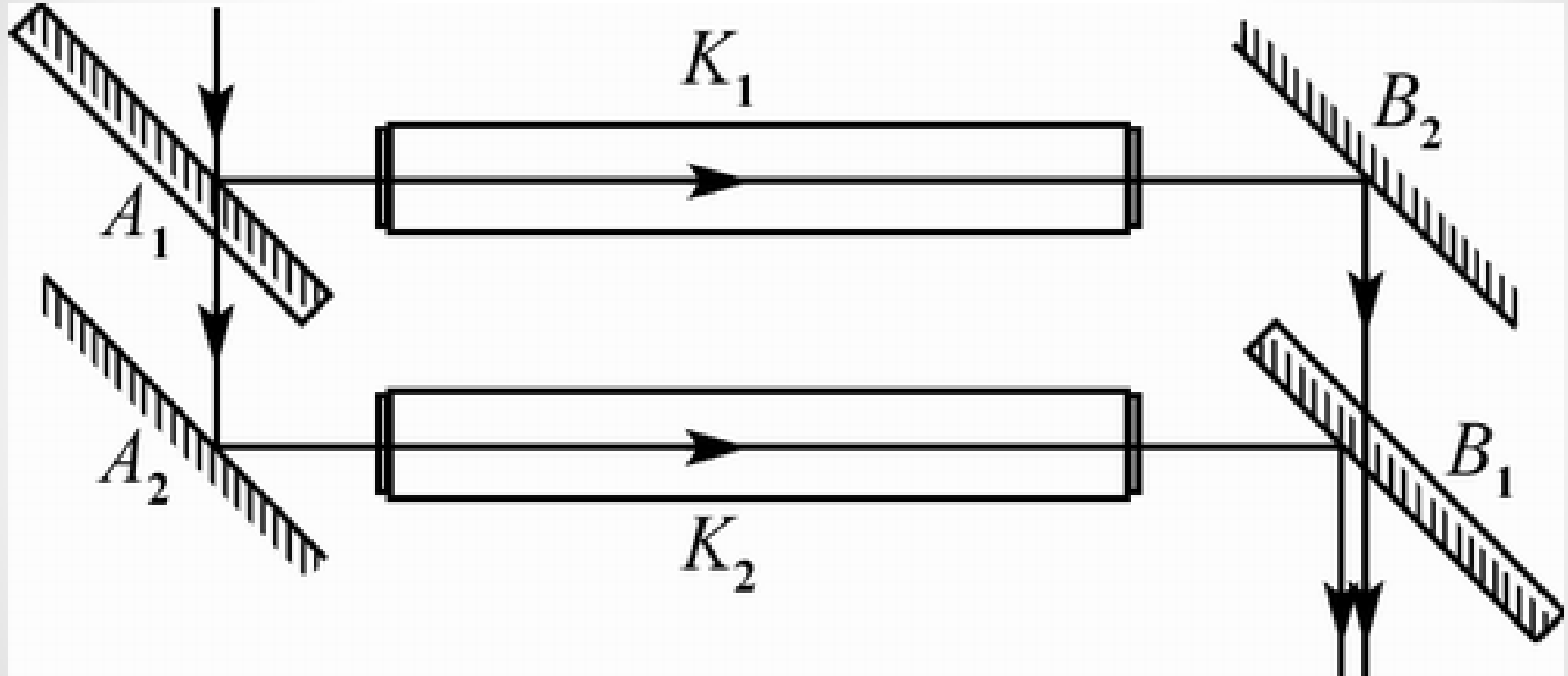
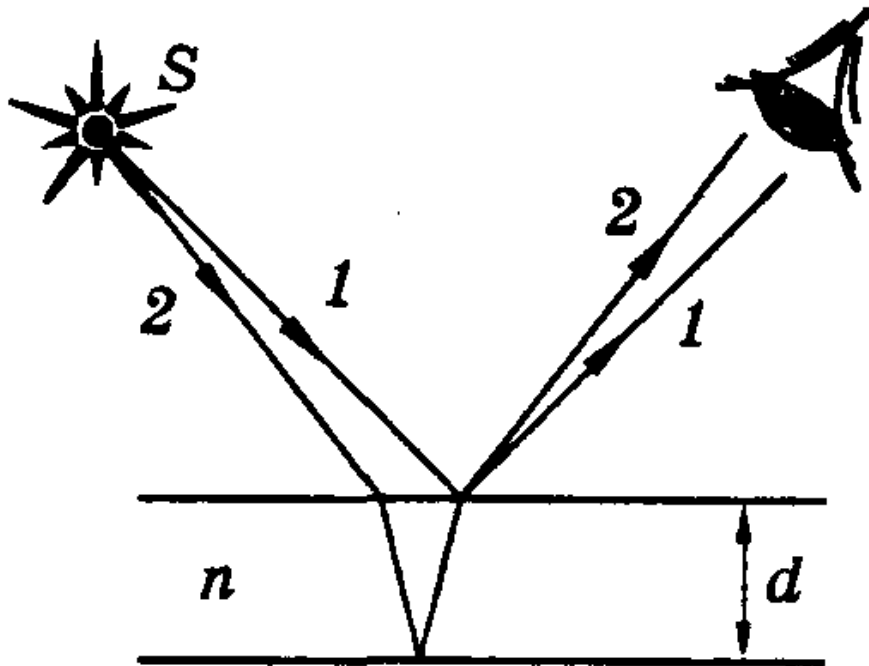


Схема интерферометра Рождественского



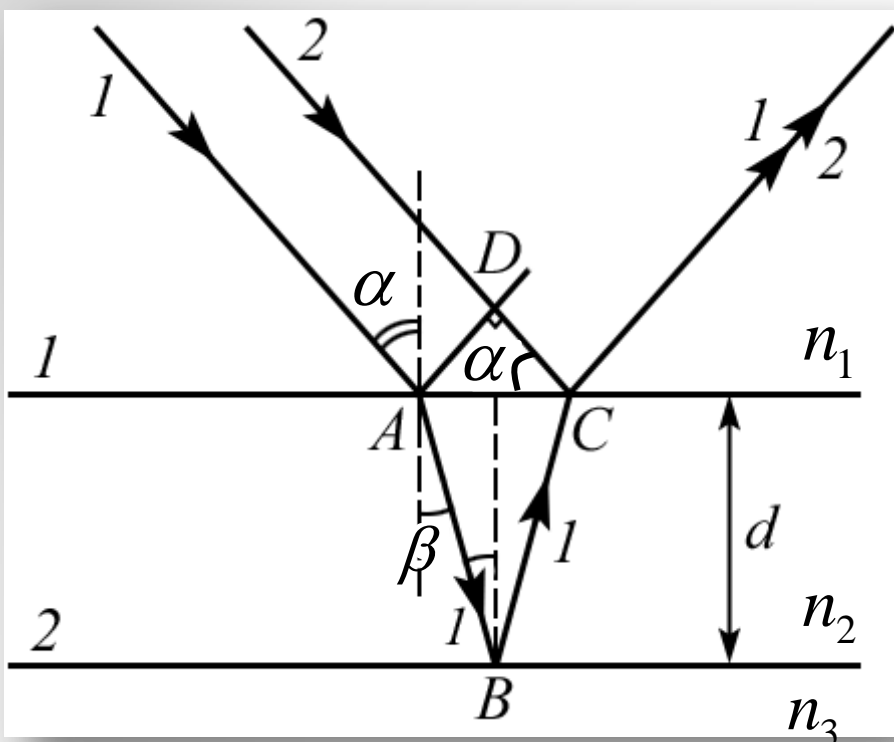
Схемы с делением амплитуды

Интерференция в тонких пленках



Две интерферирующие волны создаются при отражении падающей волны от двух поверхностей.

Амплитуда каждой из интерферирующих волн меньше амплитуды исходной волны.



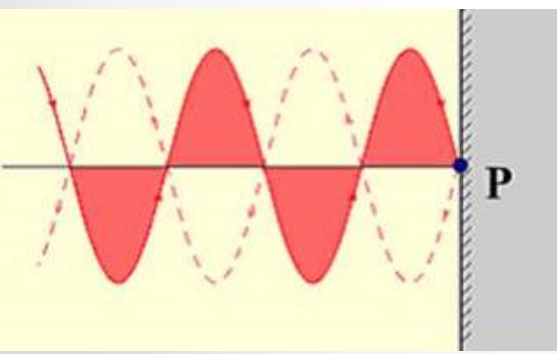
$$L_1 = AD \cdot n_1 \left(+\frac{\lambda}{2} \right) \quad ("+" , \text{ если } n_2 > n_1)$$

$$L_2 = ABC \cdot n_2 \left(+\frac{\lambda}{2} \right) \quad ("+" , \text{ если } n_3 > n_2)$$

Оптическая разность хода, приобретаемая лучами 1 и 2 до того, как они сойдутся в точке С:

$$\Delta L = L_2 - L_1 = ABC \cdot n_2 - AD \cdot n_1 \pm \frac{\lambda}{2}$$

$\pm \frac{\lambda_0}{2}$ Учитывает набег фазы $\pm \pi$ при отражении



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

$$AB = BC = \frac{d}{\cos \beta}$$

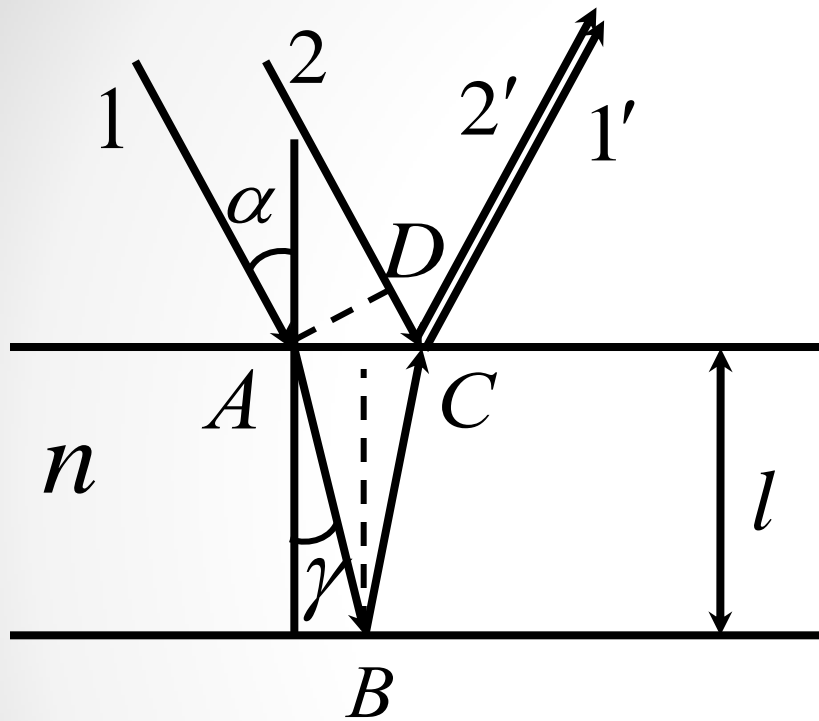
$$AC = 2d \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\Delta L = 2dn \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2}$$

$$2dn \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2} = m_{\max} \lambda$$

Линии равного наклона



Если пластинка плоскопараллельная, то на экране интерферограмма = семейство линий для которых $\cos r = \text{const}$. Это **линии равного наклона**.

Для наблюдения экран отодвигают как можно дальше. **Линии равного наклона локализованы в ∞ -СТИ**

В названии отражается факт, что интерференционная картина образована параллельно распространяющимися волнами, падающими на пластинку под одним углом.

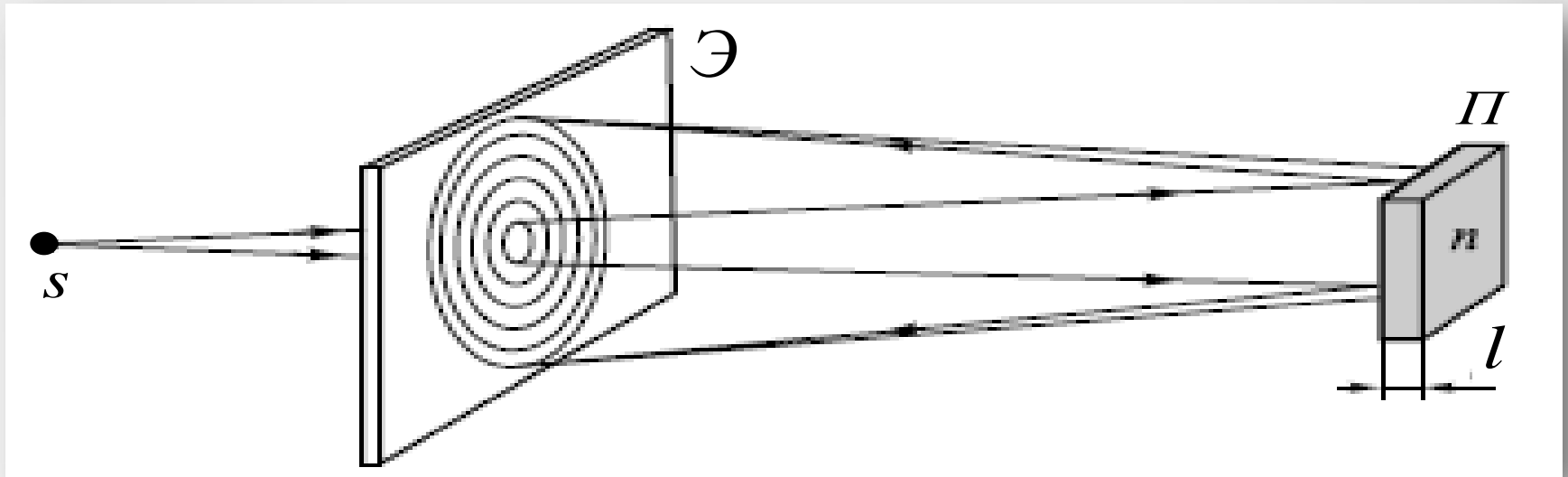
**Условие
МИНИМУМОВ В
отраженном
свете
(максимумов в
проходящем)**

$$\begin{aligned}\Delta L &= 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \pm \frac{\lambda}{2} = \{\sin \alpha = n \sin \beta\} \\ &= 2dn \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \\ m &= 0, \pm 1, \pm 2 \dots\end{aligned}$$

**Условие максимумов
в отраженном свете
(минимумов в
проходящем)**

$$\begin{aligned}\Delta L &= 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \pm \frac{\lambda}{2} \\ &= 2dn \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2} = m\lambda \\ m &= \pm 1, \pm 2 \dots\end{aligned}$$

$$\Delta = 2l \cdot n \cdot \cos \beta \pm \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0$$



Самое меньшее кольцо имеет максимальный порядок. С увеличением радиуса порядок интерференции убывает.

Если источник света излучает несколько спектральных линий, то для каждого из них формируется своя система колец.