

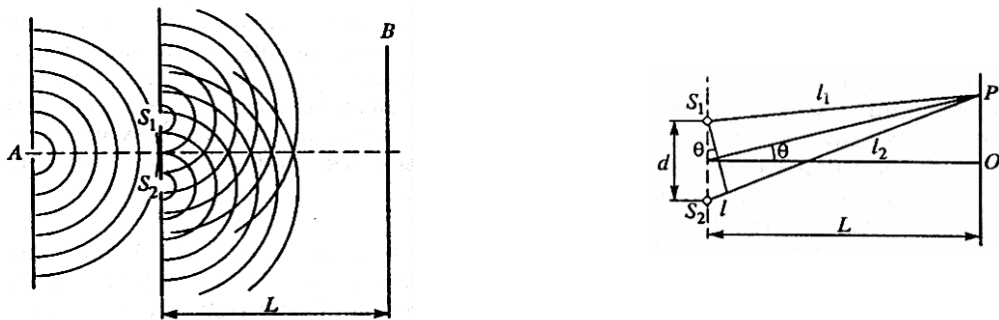
## Урок №25 (11.12.2007)

### Интерференция. Опыт Юнга. Зеркала Френеля. Интерферометр Майкельсона.

#### 1. Опыт Юнга.

Опыт Юнга (1802). Т.к. источники некогерентны, то интерференцию можно наблюдать лишь при разделении и сведении одного и того же пучка, причем разность хода лучей должна быть меньше длины одного цуга.

*Принцип Гюйгенса: каждую точку прохождения волны можно считать вторичным точечным излучателем.*



Интерференция в опыте Юнга будет усиливающей, если разность хода волн между двумя лучами будет кратна длине волны света. Считая расстояние между отверстиями  $d \ll L$ , при малых  $\theta$  получим для разности хода  $l$ :  $l = d\theta$ . Максимумы будут наблюдаться при углах  $\theta_{\max} = n\frac{\lambda}{d}$ ,  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , соответственно минимумы:

$$\theta_{\min} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{d}, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

*Оценим максимальный ход лучей, при которых еще возможно наблюдать явление интерференции. Время излучения атома  $\sim 10^{-8}$  с. Следовательно, длина цуга  $\delta = 10^{-8} \times 3 \cdot 10^8 \approx 3$  м.*

#### Интерференционная картина.

Энергия световой волны на экране характеризуется квадратом амплитуды суммы волн от двух источников. Сумма двух волн даст  $\cos \omega(t - l_1/c) + \cos \omega(t - l_2/c) = 2 \cos[\omega(l_2 - l_1)/2c] \cos \omega[t - (l_1 + l_2)/2c]$ , т.е. колебания с амплитудой  $2 \cos(\omega l/2c)$ , где  $l = l_2 - l_1$  – разность хода лучей. Освещенность, т.е. энергия колебаний, пропорциональна квадрату амплитуды:

$$E(\theta) \sim 4 \cos^2\left(\frac{\omega d}{2c} \theta\right) = 2 \left[1 + \cos\left(\frac{\omega d}{c} \theta\right)\right].$$

Решая уравнение  $\cos\left(\frac{\omega d}{c} \theta\right) = 1$ , находим для максимумов:  $\theta = \frac{2\pi c}{\omega d} n$ . Учитывая,

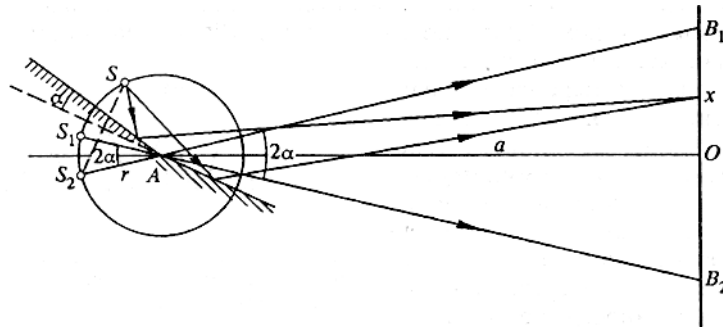
что  $\frac{c}{f} = cT = \lambda$ , получаем:  $\theta = \frac{\lambda}{d} n$ . Значит на экране, расположенном на расстоя-

нии  $L$  от отверстий, расстояние между максимумами будет  $\frac{\lambda}{d}L$ . Для  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  см,  $d = 0,5$  мм,  $L = 1$  м, расстояние между максимумами будет 1 мм!

## 2. Зеркала Френеля.

Схема опыта показана на рисунке:

Распределение светлых полос на экране, очевидно, будет точно таким же, как и в опыте Юнга. Продемонстрируем принципы расчёта подобных экспериментов. Предположим, нам надо найти полное число полос интерференции  $N$ , возникаю-



щее в этом эксперименте.

Расстояние  $h$  между соседними максимумами, как следует из расчёта опыта Юнга, равно  $h = \frac{\lambda}{d}L$ , где  $d = 2r\alpha$ , как видно из рисунка. Полное расстояние до экрана равно  $L = r + a$ . В итоге получаем:

$$h = \frac{\lambda(r+a)}{2r\alpha}.$$

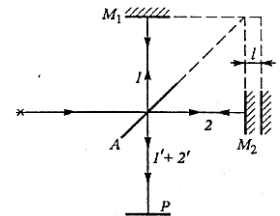
Заметим, что интерференция возникает только между точками  $B_1$  и  $B_2$ . Если экран расположить параллельно линии  $S_1S_2$ , то  $B_1B_2 = 2a \operatorname{tg} \alpha$ , где  $a$  – расстояние от линии пересечения зеркал до экрана. Учитывая, что  $\alpha \ll 1$ ,  $B_1B_2 \approx 2a\alpha$ .

Следовательно, полное количество полос будет:

$$N = \frac{B_1B_2}{h} = \frac{4\alpha^2 ar}{\lambda(a+r)}.$$

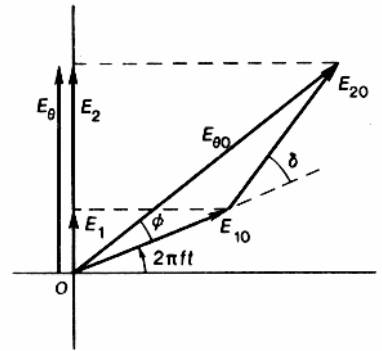
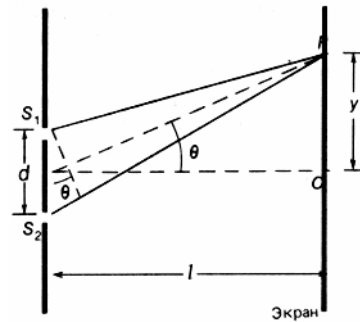
## 3. Интерферометр Майкельсона

Интерферометр Майкельсона используется для измерения с очень большой точностью очень малых расстояний. Схема приведена на рисунке. Идея в том, что луч света (идуший от источника слева) расщепляется полупрозрачным зеркалом  $A$  на два когерентных луча, которые отразившись от зеркал  $M_1$  и  $M_2$ , вновь собираются на экране  $P$ . Очевидно, что интерференционная картина на экране смещается на одну полосу, при смещении зеркала  $M_2$  на расстояние, равное половине длины волны!



#### 4. Метод фазовых диаграмм в расчете интерференционной картины

Предположим вначале, что если закрыть любое из отверстий, то каждая точка экрана будет освещена равномерно с интенсивностью  $I$  ( $I \sim E^2$ ). Если открыть обе щели, то напряженность электрического поля на экране будет равна  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ . При этом вектора можно считать практически сонаправленными, поэтому можно записать  $E = E_1 + E_2$ .



Итак, в районе экрана  $E_1 = E_{10} \sin \omega t$  и  $E_2 = E_{20} \sin(\omega t + \delta)$ . Сумму  $E_1 + E_2$  можно найти с помощью метода фазовых диаграмм. Из рисунка видно, что  $E_\theta = E_{\theta 0} \sin(\omega t + \phi) = E_{\theta 0} \sin(\omega t + \delta/2)$ , при этом  $E_{\theta 0} = 2E_0 \cos(\delta/2)$ . При этом разность фаз  $\delta$  находится из условия, что при разности хода лучей  $d \sin \theta = \lambda/2$  лучи приходят в противофазе ( $\delta = \pi$ ), т.е.  $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$ .