

## Лекция 10. Интерференция в разных опытах

### Оптическая разность хода и разность фаз

Чтобы наблюдать интерференцию света, необходимо использовать когерентные источники, т.е. источники с постоянной разностью фаз. Получить два совершенно одинаковых независимых источника практически невозможно, поэтому используют один источник и делят его волновой фронт – например, с помощью двух щелей. В этом случае два полученных пучка будут когерентными.

Важно понимать, что сама по себе оптическая разность хода между лучами не гарантирует интерференции. Для наблюдения интерференционной картины необходимо, чтобы лучи пересекались в пространстве и накладывались друг на друга. Если лучи в дальнейшем не пересекаются, интерференционные эффекты в этих областях не наблюдаются, даже несмотря на существование фиксированной разности хода.

**Оптическая разность хода  $\Delta$**  – это разность между произведениями геометрических длин путей, пройденных волнами, и показателей преломления сред, через которые проходят волны. Иначе говоря, она показывает, насколько одна волна «отстаёт» от другой по фазе из-за различий в длине пути и/или свойствах среды.

Если волна проходит путь  $S$  в среде с показателем преломления  $n$ , её фаза:

$$\varphi = \omega t - kS + \varphi_0 = \omega t - \frac{2\pi n}{\lambda_0} S + \varphi_0$$

Для двух лучей разность фаз будет:

$$\Delta = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_1 S_1 - n_2 S_2)$$

Алгоритм вычисления оптической разности хода:

1. Определить пути  $S_1$  и  $S_2$ , пройденные волнами.
2. Определить показатели преломления  $n_1$  и  $n_2$  сред, через которые проходят волны.
3. Вычислить:

$$\Delta = n_1 S_1 - n_2 S_2.$$

4. Если волны идут по воздуху ( $n_1 = n_2 = 1$ ), формула упрощается до разности геометрических длин.

### Интерференционные полосы (опыт Юнга)

Томас Юнг в своём знаменитом эксперименте использовал одну щель как источник света, проходящего через две узкие щели. На экране за ними возникала интерференционная картина – чередующиеся светлые и тёмные полосы.

Пусть расстояние между щелями  $d$ , расстояние до экрана  $L$ , а  $x$  – поперечная координата на

экране:

$$\Delta = d \sin \theta \approx \frac{dx}{L}, \quad \text{где } x \text{ — координата полосы}$$

Для максимумов интерференции:

$$\Delta = m\lambda \Rightarrow x_m = \frac{m\lambda L}{d}$$

## Призма

При прохождении света через тонкую призму с углом преломления  $\alpha$  и показателем преломления  $n$ :

$$\alpha_1 = n\beta_1, \quad \alpha_2 = n\beta_2, \quad \beta_1 + \beta_2 = \alpha$$

Итоговая разность хода:

$$\Delta = (\alpha_1 + \alpha_2) - (\beta_1 + \beta_2) = n\alpha - \alpha = \alpha(n - 1)$$

## Билинза Френеля

Это приспособление, создающее два когерентных пучка с помощью симметрично расположенных линз. Оптическая разность хода:

$$\Delta = 2\alpha(n - 1)a$$

Если  $a + b = L$ , где  $b$  — расстояние от билинзы до экрана, то координаты интерференционных максимумов:

$$x_m = m \frac{L}{d} \lambda = m \frac{a + b}{2\alpha(n - 1)a} \lambda$$

Для центрального максимума ( $m = 0$ ), центр находится в точке:

$$x_0 = \frac{b}{2\alpha(n - 1)}$$

## Интерференция от полупрозрачного зеркала

При отражении света от границы между двумя средами, если свет отражается от более оптически плотной среды (с большим показателем преломления), то он приобретает сдвиг фазы на  $\frac{\lambda}{2}$ . Это означает, что волна, отразившаяся от более плотной среды, будет иметь фазовый сдвиг относительно той, которая прошла через границу.

$$\Delta = a - b + \frac{\lambda}{2}$$

## Интерференция в тонкой пластине

Свет частично отражается от верхней и нижней поверхностей тонкой плёнки с показателем преломления  $n$ . Разность хода:

$$\sin \alpha = n \sin \gamma$$

$$\Delta = 2nh \cos \gamma = \frac{2nh}{\sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}}}$$

## Клиновидная пластина

**Клиновидная пластина** – тонкий слой материала с переменной толщиной, вызывает интерференцию с переменной разностью хода, что приводит к чередованию полос. Разность хода в этом случае будет:

$$\Delta(x) = 2nx \tan \theta$$

Положение тёмных полос определяется условием разрушительной интерференции:

$$m = \frac{(2m+1)\lambda}{4n \tan \theta}$$

## Кольца Ньютона

**Кольца Ньютона** – интерференционная картина, возникающая при наложении выпуклой линзы на плоскую пластину. Возникают концентрические кольца из-за различной толщины воздушного зазора  $h(r)$ :

$$h(r) = \frac{r^2}{2R} \Rightarrow \Delta = 2nh = \frac{nr^2}{R}$$

Для тёмных колец:

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

## Дифракция света

Дифракция – явление огибания светом препятствий, не объяснимое законами геометрической оптики. Свидетельствует о волновой природе света и проявляется, например, в виде характерных полос за узкими щелями и объектами.

Типичные примеры:

- дифракция на щели;
- дифракция на проволоке;
- дифракция Фраунгофера и Френеля.

**Условие минимума при дифракции на щели:**  $a \sin \theta = m\lambda$ ,  $m \in \mathbb{Z}$ , где  $a$  – ширина щели.

**Условие максимума при дифракции на щели:**  $d \sin \theta = m\lambda$ ,  $m \in \mathbb{Z}$ , где  $d$  – период решетки (ширина щели + ширина препятствия).

Или  $a \sin \theta = \frac{1}{2}(2m+1)\lambda$ ,  $m \in \mathbb{Z}$