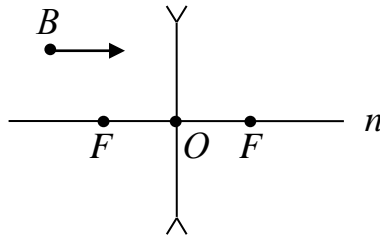
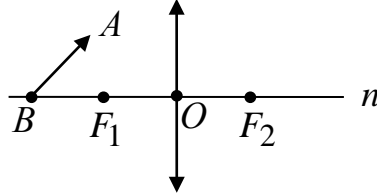


Ответ: 1,4.

9. Построить изображение стрелки AB , даваемой рассеивающей линзой.



10. Построить изображение стрелки AB , даваемой собирающей линзой.



11. Над центром круглого стола радиусом $R = 1$ м висит лампа с силой света $I = 100$ кд. Построить график зависимости освещенности E края стола от высоты h лампы над столом $E = E(h)$ в интервале от 0,5 до 0,9 м через каждые 0,1 м.

12. Спираль электрической лампочки с силой света $I = 100$ кд заключена в матовую сферическую колбу диаметром: а) $d = 5$ см; б) $d = 10$ см. Найти светимость R и яркость B лампы. Потерей света в оболочке колбы пренебречь.

Занятие № 2

Тема: Интерференция монохроматического света

Краткая теория

Интерференция света – частный случай общего явления интерференции волн, заключающийся в пространственном перераспределении энергии светового излучения при суперпозиции электромагнитных волн (чередующиеся минимумы и максимумы на интерференционной картине). Необходимым условием интерференции волн является их когерентность. *Когерентность* – согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов.

Строго когерентными могут быть только монохроматические волны – неограниченные в пространстве волны с постоянными во времени частотой, амплитудой и начальной фазой.

Условия наблюдения интерференционных максимумов или минимумов имеют вид:

$$\Delta = \pm 2m \frac{\lambda_0}{2} \text{ – максимум } m\text{-порядка (светлая полоса), } m = 0, 1, 2, \dots;$$

$$\Delta = \pm (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2} \text{ – минимум } m\text{-порядка (темная полоса), } m = 0, 1, 2, \dots;$$

$\Delta = n_1 r_1 - n_2 r_2$ – оптическая разность хода, где n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления сред, в которых распространяются лучи, r_1 и r_2 – расстояния от источников S_1 и S_2 до точки A на экране, λ_0 – длины волны в вакууме.

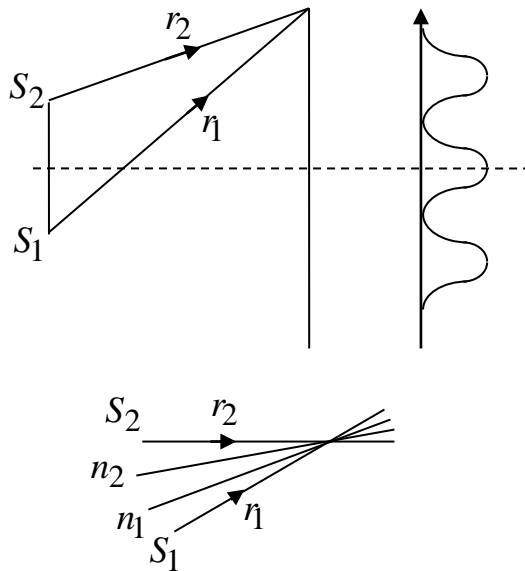


Рис. 2.1

Интерференция света в тонких пленках

Пусть на прозрачную плоскопараллельную пластинку падает плоская монохроматическая волна под углом θ . В результате отражений от обеих поверхностей пластинки исходная волна расщепится на две (лучи 1 и 2 параллельны друг другу). Если оптическая разность хода лучей 1 и 2 мала по сравнению с длиной когерентности (длина когерентности – расстояние, при прохождении которого две или несколько волн утрачивают когерентность) падающей волны, то они когерентны, а интерференционная картина определяется оптической разностью хода между интерферирующими лучами.

$$\Delta = n(AB + BC) - \left(AD \pm \frac{\lambda_0}{2} \right),$$

где θ' – угол преломления, n – показатель преломления пластинки, b – толщина пластинки, n_0 – показатель преломления воздуха.

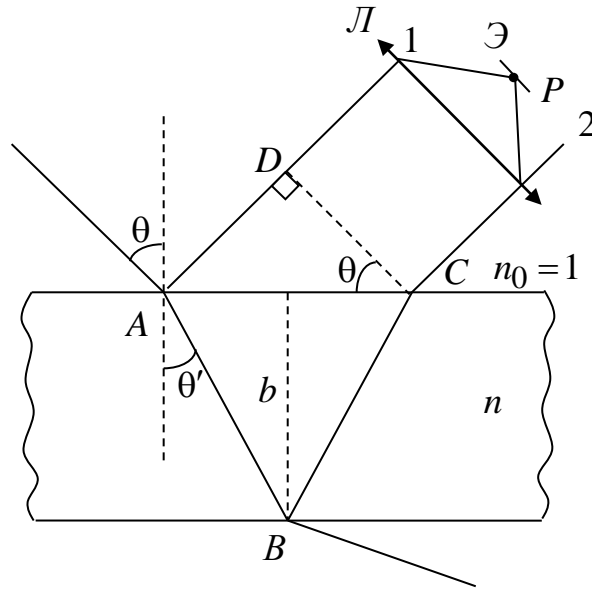


Рис. 2.2

При отражении от верхней поверхности пластинки (от среды, оптически более плотной) происходит скачок фазы на π у отраженной волны, т.е. «потеря» полуволны $\pm \frac{\lambda_0}{2}$. Учитывая, что $\sin \theta = n \sin \theta'$ получим

$$\Delta = 2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta} \pm \frac{\lambda_0}{2}.$$

При $n > n_0$ потеря полуволны в точке A и $\frac{\lambda}{2}$ будет иметь знак минус; при $n < n_0$ – потеря полуволны в точке B и $\frac{\lambda}{2}$ надо брать с плюсом.

Условие интерференционного максимума

$$2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta} \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2m \frac{\lambda_0}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

Условие интерференционного минимума

$$2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta} \pm \frac{\lambda_0}{2} = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

где λ_0 – длина волны в вакууме, m – порядок интерференции.

Интерференция может наблюдаться как в проходящем, так и отраженном свете. Максимумам интерференции в отраженном свете соответствуют минимумы в проходящем и наоборот (оптическая разность хода для проходящего и отраженного света отличаются на $\frac{\lambda_0}{2}$).

Интерференционная картина в плоскопараллельных пластинках (пленках) определяется величинами λ_0 , b , n и θ . Для данных λ_0 , b и n каждому наклону θ лучей соответствует своя интерференционная полоса. Интерференционные полосы, возникающие в результате наложения лучей, падающих на плоскопараллельную пластинку под одинаковыми углами, называются полосами равного наклона.

Интерференция от пластинки переменной толщины. На клин с углом α между боковыми гранями падает плоская монохроматическая волна (лучи 1 и 2 рис. 2.3).

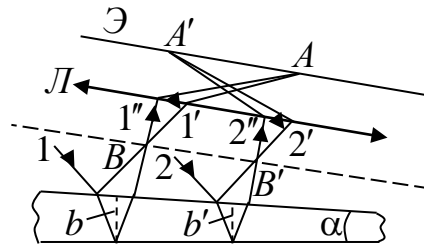


Рис. 2.3

При определенном взаимном положении клина и линзы лучи $1'$ и $1''$, отразившиеся от верхней и нижней поверхности клина, пересекутся в точке A , которая является изображением точки B . В силу когерентности эти лучи будут интерферировать.

Если источник расположен далеко от поверхности клина, а $\alpha \rightarrow 0$, то

$$\Delta = 2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta} \pm \frac{\lambda_0}{2},$$

где b – толщина клина в месте падения на него луча.

Лучи $2'$ и $2''$, отразившиеся от верхней и нижней поверхностей клина при падении на него луча 2 в другой точке, собираются линзой в точке A' . В этом случае оптическая разность хода определяется уже толщиной b' . В результате на экране мы видим систему интерференционных полос.

Кольца Ньютона наблюдаются при отражении света от воздушного зазора, образованного плоскополяризованной пластинкой и соприкасающейся с ней плосковыпуклой линзой с большим радиусом кривизны R (рис. 2.4). Если параллельный пучок света падает на плоскую поверхность линзы нормально, то полосы равной толщины имеют вид концентрических окружностей.

В отраженном свете

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda_0}{2}.$$

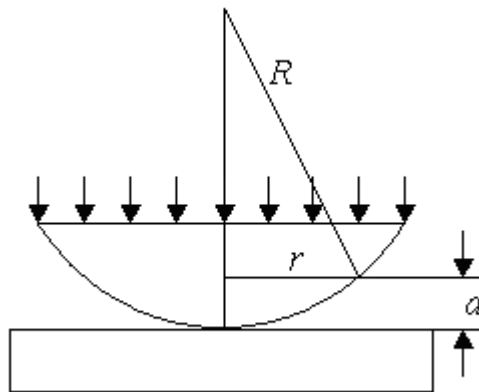


Рис. 2.4

Параллельный пучок света падает нормально на плоскую поверхность линзы и частично отражается от верхней и нижней поверхностей воздушного зазора между линзой и пластиной. При наложении отраженных лучей возникают полосы равной толщины.

Из рис. 2.4 следует, что

$$R^2 = (R - d)^2 + r^2,$$

где r – радиус кривизны окружности, всем точкам которой соответствует одинаковый зазор d .

Так как d мал, то

$$d = \frac{r^2}{2R} \text{ и } \Delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda_0}{2}.$$

Следовательно, каждая из полос возникает при отражении от мест пластинки, имеющих одинаковую толщину. Интерференционные полосы, возникающие в результате интерференции от мест одинаковой толщины, называются *полосами равной толщины*.

Так как верхняя и нижняя грани клина не параллельны между собой, то лучи $1'$ и $1''$ ($2'$ и $2''$) пересекаются вблизи пластинки, т.е. полосы равной толщины локализованы вблизи поверхности клина. Если свет падает на пластинку нормально, то полосы равной толщины локализуются на верхней поверхности клина.

Радиус m -го светлого кольца в отраженном (или темного в проходящем) свете

$$r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda_0 R} \quad (m = 1, 2, 3, \dots).$$

Радиус m -го темного кольца в отраженном (или светлого в проходящем) свете

$$r_m^* = \sqrt{m\lambda_0 R} \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

($n = 1$ для воздуха).

Примеры решения задач

Задача 2.1. Два когерентных источника S_1 и S_2 испускают монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Определить, на каком расстоянии от центра экрана будет расположен первый максимум интерференционной картины, если $L = 4$ м, $h = 1$ мм?

Решение

$\lambda = 600 \text{ нм} = 6 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ $L = 4 \text{ м}$ $n = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$ $x_1 = ?$
--

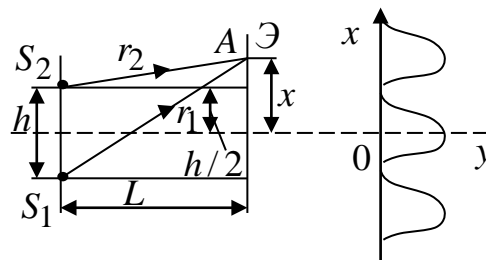


Рис. 2.5

Из рисунка видно, что

$$r_1^2 = L^2 + \left(x + \frac{h}{2}\right)^2,$$

$$r_2^2 = L^2 + \left(x - \frac{h}{2}\right)^2.$$

Вычитывая из первого уравнения второе, имеем:

$$(r_1 - r_2)(r_1 + r_2) = 2xh,$$

так как $L \gg h$, то $r_1 + r_2 \approx 2L$.

С учетом того, что $\Delta = r_1 - r_2$, имеем:

$$\Delta = \frac{2xh}{2L} = x \frac{h}{L}.$$

Условие максимумов интерференционной картины

$$\Delta = \pm 2m \frac{\lambda_0}{2},$$

где λ_0 – длина волны в вакууме.

Приравнивая правые части двух последних равенств, получим:

$$x_m = \pm \frac{m\lambda_0 L}{h}.$$

Для первого максимума $m = 1$, $x_1 = \pm \frac{\lambda_0 L}{n} = \pm 2,4$ мм.

Знаки \pm показывают, что максимумы симметрично расположены относительно центра экрана по обе его стороны.

Ответ: $x_1 = \pm 2,4$ мм.

Задача 2.2. На экране наблюдается интерференционная картина в результате наложения лучей от двух когерентных источников ($\lambda = 600$ нм). Определить, на сколько полос сместится интерференционная картина, если на пути одного из лучей перпендикулярно ему поместить стеклянную пластинку ($n = 1,6$) толщиной $d = 4$ мкм.

Решение

$$\lambda = 600 \text{ нм} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$n = 1,6$$

$$d = 4 \text{ мкм} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$m - ?$$

Пластинка изменяет оптическую разность хода интерференционных лучей на

$$\Delta = nd - d = d(n - 1),$$

где d – толщина пластинки, n – показатель преломления пластинки.

При внесении пластинки произойдет смещение интерференционной картины на m полос.

Следовательно,

$$\Delta = m\lambda$$

или

$$d(n - 1) = m\lambda,$$

$$m = d(n - 1)/\lambda,$$

$$m = 4.$$

Ответ: $m = 4$.

Задача 2.3. На тонкую прозрачную плоскопараллельную пластинку ($n = 1,5$) под углом $\alpha = 50^\circ$ падает белый свет. Определить толщину пленки, при которой она в проходящем свете будет казаться красной ($\lambda = 670$ нм)?

Решение

$n = 1,5$ $\lambda = 670 \text{ нм} = 6,7 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ $\alpha = 50^\circ$ $d_{\min} - ?$
--

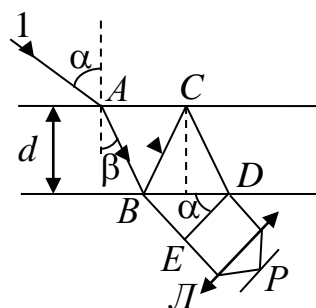


Рис. 2.6

Луч 1, падая на пластинку, частично отражается и частично преломляется в точках A, B, C, D .

Оптическая разность хода между интерферирующими лучами

$$\Delta = 2BC \cdot n - BE$$

(отражение луча в точке C не сопровождается потерей полуволны, а показатель преломления воздуха равен 1). Так как $BC = CD = d / \cos\beta$, $BE = BD \sin\alpha = 2d \tan\beta \sin\alpha$, а по закону преломления $\sin\alpha = n \sin\beta$, получим

$$\Delta = 2dn \cos \beta = 2dn \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha},$$

где d – толщина пластинки, α – угол падения, β – угол преломления.

Условием того, что пленка окрашена (условие максимума) будет $2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = m\lambda$.

Для минимальной толщины $m = 1$

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} = 260 \text{ нм.}$$

Ответ: 260 нм.

Задачи для самостоятельного решения

1. На стеклянный клин ($n = 1,5$) с углом при вершине $\alpha = 1'$ падает под углом $i = 18^\circ$ монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Определите расстояние между двумя соседними минимумами при наблюдении интерференции.

Ответ: $b = 0,703$ мм.

2. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. Наблюдение ведется в отраженном свете. Радиусы двух соседних темных колец равны $r_k = 4,0$ мм и $r_{k+1} = 4,38$ мм. Радиус кривизны линзы $R = 6,4$ м. Найти порядковые номера колец и длину волны λ падающего света.

Ответ: $k = 5$, $\lambda = 0,5 \cdot 10^{-6}$ м.

3. На пути одного из лучей интерферометра Жамена поместим откачанную трубку длиной $l = 10$ см. При заполнении трубки хлором интерференционная картина для длины волны $\lambda = 590$ нм сместилась на $k = 131$ полосу. Найти показатель преломления n хлора.

Ответ: $n \approx 1,0008$.

4. Определите длину отрезка l_1 , на котором укладывается столько же длин волн монохроматического света в вакууме, сколько их укладывается на отрезке $l_2 = 5$ мм в стекле. Показатель преломления стекла $n = 1,5$.

Ответ:

5. В опыте Юнга расстояние l от щелей до экрана равно 3 м. Опыт Юнга заключается в следующем. Свет от источника света (щели S) падает на две узкие равноудаленные щели S_1 и S_2 , параллельные щели S. При этом S_1