

ся в течение многих колебаний, когда разность фаз между интерферирующими колебаниями будет оставаться постоянной. Таким образом, для получения интерференции световых волн в какой-либо точке пространства необходимо постоянство разности фаз между световыми колебаниями, приходящими в эту точку; такие колебания называют *когерентными* ¹⁾.

Всякое светящееся тело состоит из весьма многих источников колебаний: световые волны порождаются отдельными атомами вещества; мы наблюдаем всегда суммарное действие многих атомов. Для получения интерференции от двух источников света необходимо, чтобы в месте наблюдения волны, излучаемые всеми атомами одного источника, отличались по фазе на одну и ту же величину от волн другого источника. Такое совпадение является невероятным, поэтому между лучами двух различных источников света нельзя получить явления интерференции. Интерференция наблюдается только в том случае, если световые лучи одного источника каким-нибудь образом (отражением, преломлением) были «раздвоены» и затем снова сведены. Однако даже в этом случае могут быть получены некогерентные колебания.

Дело в том, что каждый атом излучает непрерывно только некоторый конечный промежуток времени и затем потухает. За это время он испускает непрерывный цуг волн. Через некоторое время тот же атом может опять начать светиться, но эти новые колебания уже никак не будут связаны с фазами предыдущего колебания. Среднее время непрерывного свечения атома обычно порядка 10^{-8} сек. За это время атом испустит около 10^7 колебаний, или волн ($10^{15} \cdot 10^{-8} = 10^7$). Поэтому два колебания, вышедшие из одной точки источника света, но запаздывающие друг относительно друга более чем на 10^7 длин волн, уже будут некогерентны между собой. Эти колебания будут испущены при двух независимых между собой «вспышках» атома. Длина волны видимого света около $0,5 \text{ мк}$, следовательно, при разности хода, большей, чем $10^7 \cdot 0,5 \text{ мк} = 5 \text{ м}$, интерференция должна исчезать. Разные атомы обладают различными временами излучений, называемыми *продолжительностью жизни светящегося атома*. По исчезновению интерференции мы можем судить о продолжительности жизни светящегося атома. Чем больше продолжительность жизни, тем при больших разностях хода еще будет наблюдаться интерференция.

§ 17. Зеркала Френеля

В качестве примера оптической системы, позволяющей получить два когерентных световых пучка, рассмотрим так называемые *зеркала Френеля* (рис. 54). Френель предложил устанавливать два зеркала *A* и *B* под углом, близким к 180° . Очевидно, картина, получающая-

¹⁾ От лат. *cohaerentia* — связь.

ся на экране E , будет такой же, как если бы вместо источника S и зеркал A и B были взяты для источника S' и S'' , являющихся изображениями S в зеркалах A и B , с той лишь разницей, что в установке Френеля лучи от источников света S' и S'' когерентны (способны интерферировать).

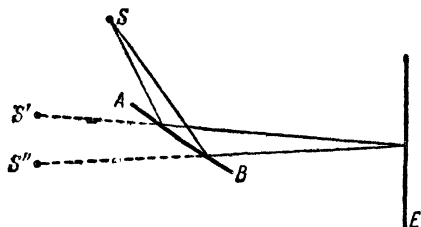


Рис. 54. Зеркала Френеля.

удобно близко друг к другу (это зависит от угла между зеркалами A и B).

Пусть расстояние изображений S' и S'' друг от друга есть d и расстояние их от экрана E равно l (рис. 55). Пусть O будет точкой экрана E , одинаково удаленной от S' и S'' . Вычислим «разность хода» $\delta = S''M - S'M$. Если эта разность окажется равной половине длины

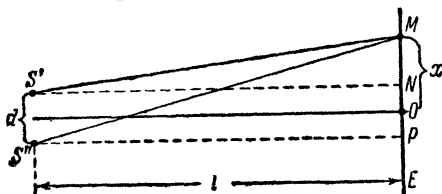


Рис. 55. К расчету интерференции.

волны, мы должны будем заключить, что в точке M световые колебания взаимно уничтожают друг друга. Пусть $MO = x$. Из прямоугольного треугольника $MS'N$ получим:

$$(MS')^2 = (S'N)^2 + (NM)^2 = l^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2.$$

Из треугольника $MS''P$ имеем:

$$(MS'')^2 = (S''P)^2 + (PM)^2 = l^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2.$$

Возьмем разность

$$(MS'')^2 - (MS')^2 = \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 = 2xd.$$

Следовательно,

$$(MS'' - MS') \cdot (MS'' + MS') = 2xd.$$

Первый множитель левой части этого равенства есть интересующая нас разность хода δ , второй множитель может приближенно быть принят равным $2l$, так как расстояние d между S' и S'' и рас-

стояние x обычно очень малы по сравнению с l . Окончательно мы приходим к формуле

$$\delta = \frac{xd}{l}, \quad (1)$$

где x — расстояние от O до рассматриваемой точки экрана.

Если осуществить опыт с зеркалами Френеля, то на экране E в точке O мы получим светлую точку. В это место лучи приходят в одинаковой фазе и взаимно усиливают друг друга. По мере удаления от точки O мы придем в такое место экрана на расстоянии x_1 от центра, где $\frac{x_1 d}{l}$ делается равным половине длины волны $\frac{\lambda}{2}$. Разности хода $\frac{\lambda}{2}$ соответствует разность фаз π . Световые колебания, приходящие в эту точку, уничтожают друг друга; здесь мы получим темную полосу¹⁾. При дальнейшем перемещении по экрану E мы придем в такую точку, где

$$\delta = \frac{xd}{l} = \lambda.$$

Здесь колебания снова находятся в одной фазе; в этом месте наблюдается свет. Таким образом, удаляясь от центра экрана, мы попеременно будем обнаруживать то светлые, то темные места. Первые получаются на расстоянии

$$x = m\lambda \frac{l}{d} \quad (2)$$

(разность хода δ равны целому числу волн), для вторых

$$x = (2m - 1) \frac{\lambda}{2} \frac{l}{d} \quad (3)$$

(разность хода δ равна нечетному числу полуволн), где m — целое число.

Из выражений (2) и (3) следует, что ширина интерференционных полос обратно пропорциональна расстоянию между источниками d . При недостаточно малом d интерференционная картина получается слишком мелкой и ее нельзя рассмотреть.

Если бы вместо изображений S' и S'' мы поставили два независимых источника света, освещенность экрана всюду была бы равна двойной освещенности и никаких темных полос не наблюдалось бы.

В результате сложения световых колебаний вместо равномерно освещенного поля получается полосатая интерференционная

¹⁾ Конечно, только в случае равенства амплитуд. Если амплитуды не равны, при этом происходит только частичное ослабление. Дальше мы всюду для простоты будем считать амплитуды двух волн равными.

картина (рис. 56). Появление темных полос, конечно, ни в какой мере не противоречит закону сохранения энергии. Вследствие интерференции световая энергия не исчезает, а просто перераспределяется по экрану. Если в темных полосах освещенность меньше, чем в случае равномерного освещения двумя некогерентными источниками, то зато в светлых полосах она больше, чем при равномерном освещении. Средняя освещенность (и поток энергии, падающий на экран) в обоих случаях будет одна и та же.

Благодаря тому что расстояния d и l , так же как и x , в опыте известны, сделанный выше расчет позволяет определить длину световой волны. При расстоянии между изображениями $0,5$ мм и расстоянии

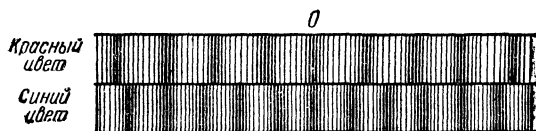


Рис. 56. Интерференционные полосы в разных цветах.

до экрана 5 м в зеленом свете получаются полосы на расстоянии 5 мм друг от друга. Отсюда находим длину волны зеленого света $\lambda = 0,5$ мк. Для разных цветов длины волн имеют различное значение: для красного $\lambda = 0,75$ мк, для синего $\lambda = 0,46$ мк и т. д. Отсюда следует, что если произвести интерференционный опыт с белым светом, темные и светлые полосы будут получаться в несколько различных местах для разных цветов. Вследствие этого светлые полосы становятся радужными. На некотором расстоянии от центра найдется такое место, где темная полоса красного цвета совпадает с светлой полосой синего. В результате подобного рода наложений интерференционная картина исчезнет уже на третьей или четвертой полосе. Чем меньше различных длин волн содержит источник света (чем уже его спектр), тем дальше можно проследить интерференционные полосы.

§ 18. Цвета тонких пленок. Полосы равной толщины

«Интерференционные цвета» отличаются от обычного цвета тел тем, что их можно наблюдать у бесцветных прозрачных тел, и еще тем, что они меняются при изменении условий освещения и наблюдения. Появление интерференционной окраски можно наблюдать на тонких пленках, например керосина, плавающего на воде, или на стенках мыльного пузыря.

При наблюдении интерференционных явлений непосредственно глазом (без промежуточного экрана) нужно всегда помнить, что хрусталик глаза составляет существенную часть всей оптической схемы опыта и что наблюдаемая картина будет сильно зависеть от фокусировки (аккомодации) глаза.