

ГЛАВА V

ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА

* *

§ 62. Поляризованный и естественный свет

1. При изучении интерференции и дифракции мы отвлеклись от поперечности световых колебаний, предполагая, что складываемые колебания совершаются в одном направлении. Обратимся теперь к изучению явлений *поляризации света*, типичных именно для *поперечных колебаний*. Плоская волна называется *линейно поляризованной* или *плоскополяризованной*, если электрический вектор E все время лежит в одной плоскости, в которой расположена также нормаль N к фронту волны (рис. 234).

Эта плоскость называется *плоскостью колебаний* или *плоскостью поляризации*¹⁾. От поляризованного света следует отличать *естественный свет*. В нем в каждый момент времени векторы E , H , N , хотя и остаются взаимно перпендикулярными, но направления векторов E и H беспорядочно изменяются с течением времени. Поэтому естественный свет обладает (статистически)

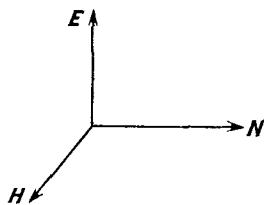


Рис. 234.

осевой симметрией относительно направления его распространения. Для линейно поляризованного света такой симметрии нет. Его свойства в различных плоскостях, проходящих через направление нормали N , различны. Среди этих плоскостей есть две избранные плоскости, в одной из которых лежит вектор E , а в другой — вектор H . Осевая асимметрия сохраняется и для смеси естественного света с линейно поляризованным. Такой свет называется *частично поляризованным*.

2. Линейно поляризованный свет легко получить, пропустив естественный свет через пластинку турмалина, вырезанную параллельно его кристаллографической (оптической) оси. Турмалин сильно поглощает световые лучи, в которых электрический вектор перпендикулярен к оптической оси. Если же электрический вектор параллелен оси, то такие лучи проходят через турмалин почти без поглощения. Поэтому естественный свет, пройдя через пластинку

¹⁾ По старой терминологии плоскостью поляризации называлась плоскость (N, H) , содержащая магнитный вектор H .

турмалина, наполовину поглощается и становится линейно поляризованным с электрическим вектором, ориентированным параллельно оптической оси турмалина.

Таким же свойством обладают *поляроиды*, более удобные в обращении. Они представляют собой искусственно приготовляемые коллоидные пленки, служащие для получения поляризованного света. Наиболее распространенным материалом для приготовления поляроидов является *герпатит*, представляющий собой соединение йода с хиномом. Этот материал вводят в целлулоидную или желатиновую пленку. В ней ультрамикроскопические кристаллики герпатита каким-либо способом (обычно механически, например протаскиванием вязкой массы через узкую щель) ориентируются своими осями в одном и том же направлении. Полученная масса, подобно турмалину, действует как один кристалл и поглощает световые колебания, электрический вектор которых перпендикулярен к оптической оси. С другими способами получения поляризованного света мы познакомимся в дальнейшем.

Всякий прибор, служащий для получения поляризованного света, называется *поляризатором*. Тот же прибор, применяемый для исследования поляризации света, называется *анализатором*. Таким образом, кристаллы турмалина или поляроиды могут служить и поляризаторами, и анализаторами.

3. Допустим, что два кристалла турмалина или два поляроида поставлены друг за другом, так что их оси OA_1 и OA_2 образуют между собой некоторый угол (рис. 235). Первый поляроид пропустит свет, электрический вектор E_0 которого параллелен его оси OA_1 . Обозначим через I_0 интенсивность этого света. Разложим E_0 на вектор $E_{||}$, параллельный оси OA_2 второго поляроида, и вектор E_{\perp} , перпендикулярный к ней ($E_0 = E_{||} + E_{\perp}$). Составляющая E_{\perp} будет задержана вторым поляроидом. Через оба поляроида пройдет свет с электрическим вектором $E \equiv E_{||}$, длина которого $E = E_0 \cos \alpha$. Интенсивность света, прошедшего через оба поляроида, будет

$$I = I_0 \cos^2 \alpha. \quad (62.1)$$

Такое соотношение справедливо для любого поляризатора и анализатора. Оно называется *законом Малюса* (1775—1812).

4. Важные состояния поляризации возникают при наложении монохроматических волн. Их общий характер одинаков для векторных волн любой физической природы. Для наглядности начнем с механического примера, когда частица совершает два гармонических колебания с одной и той же частотой ω : одно колебание происходит

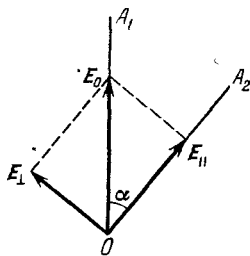


Рис. 235.

вдоль оси X , другое — вдоль оси Y . Координаты частицы представляются выражениями

$$x = a \cos \omega t, \quad y = b \cos (\omega t + \delta) \quad (a, b > 0). \quad (62.2)$$

Исключив из этих выражений время t , найдем уравнение траектории частицы:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{2xy}{ab} \cos \delta + \frac{y^2}{b^2} = \sin^2 \delta. \quad (62.3)$$

Это — кривая второго порядка, а именно *эллипс*, так как координаты x и y , как это видно из (62.2), не могут обращаться в бесконечность. Таким образом, от сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний одной и той же частоты возникает движение по эллипсу.

Для определения направления движения частицы по эллипсу заметим, что начальную фазу δ всегда можно выбрать так, чтобы она была заключена между $-\pi$ и $+\pi$. Тогда колебание с большей фазой называют *опережающим*, а с меньшей фазой — *запаздывающим*. Напишем далее компоненты скорости частицы вдоль осей X и Y :

$$\dot{x} = -\omega a \sin \omega t, \quad \dot{y} = -\omega b \sin (\omega t + \delta).$$

При $t = 0$ получим $x = a$, $\dot{y} = -\omega b \sin \delta$. Таким образом, при $t = 0$ частица находится на вертикальной прямой $x = a$. Если $-\pi < \delta < 0$, то $\dot{y} > 0$, т. е. частица движется вверх, описывая эллипс против часовой стрелки. Если же $0 < \delta < \pi$, то $\dot{y} < 0$, частица движется вниз, описывая эллипс по часовой стрелке (рис. 236). В обоих случаях движение по эллипсу совершается от положительного конца оси опережающего колебания к положительному концу оси запаздывающего колебания.

В зависимости от значений параметров a , b , δ эллипс может вырождаться в отрезки прямой или в окружность. Из (62.3) видно, что для движения по окружности должны выполняться два условия: 1) $\cos \delta = 0$, т. е. $\delta = \pm \pi/2$, 2) $a = b$.

5. Все изложенное относится и к сложению *любых* векторных колебаний, в частности электромагнитных. Две электромагнитные волны, линейно поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях, при сложении в общем случае дают волну, *поляризованную эллиптически*. В такой волне конец электрического (и маг-

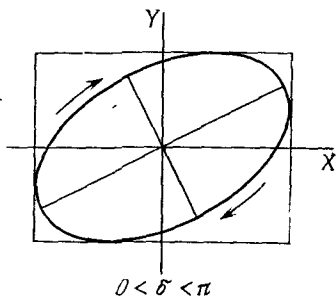


Рис. 236.

нитного) вектора в каждой точке пространства движется по эллипсу. Если эллипс вырождается в круг, то говорят, что волна *поляризована по кругу*.

Монохроматическое векторное поле всегда поляризовано, в общем случае эллиптически. Векторное поле называется монохроматическим, если все три его проекции на координатные оси совершают гармонические колебания с одной и той же частотой, т. е. представляются формулами вида

$$E_j = C_j(\mathbf{r}) \cos[\omega t + \delta_j(\mathbf{r})] \quad (j = x, y, z). \quad (62.4)$$

Умножая эти выражения на координатные орты \mathbf{e}_j и суммируя по всем j , запишем монохроматическое поле в векторной форме:

$$\mathbf{E} = A_1(\mathbf{r}) \cos \omega t + A_2(\mathbf{r}) \sin \omega t. \quad (62.5)$$

Если векторы $A_1(\mathbf{r})$ и $A_2(\mathbf{r})$ везде или в некоторых точках коллинеарны, то в таких точках вектор \mathbf{E} параллелен этим векторам, т. е. поле \mathbf{E} поляризовано линейно. Если же A_1 и A_2 не коллинеарны, то, как видно из формулы (62.5), вектор \mathbf{E} в любой момент времени лежит в плоскости векторов $A_1(\mathbf{r})$ и $A_2(\mathbf{r})$. Следовательно, конец вектора \mathbf{E} описывает плоскую кривую. Чтобы найти ее форму, примем направление A_1 за ось X , а перпендикулярное к нему направление, лежащее в плоскости (A_1, A_2) , — за ось Y . Тогда проекции E_x и E_y представятся в виде

$$E_x = a_x(\mathbf{r}) \cos(\omega t + \delta_x), \quad E_y = a_y(\mathbf{r}) \cos(\omega t + \delta_y).$$

Задача свелась к сложению двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаний одной и той же частоты, сдвинутых по фазе относительно друг друга. От такого сложения получается движение по эллипсу.

Свет, испускаемый реальными источниками, *всегда не поляризован или поляризован частично*. Это является лучшим доказательством того, что он не монохроматичен.

§ 63. Число независимых граничных условий в электромагнитной теории света

1. *Формальная теория отражения и преломления света* строится на основе *граничных условий*, которым удовлетворяют векторы электромагнитного поля на границе раздела двух сред. Она определяет величины, характеризующие отраженную и преломленную волны, но ничего не говорит о *механизме* возникновения этих волн. На последний вопрос, а также на более тонкие вопросы дает ответ *молекулярная теория*. Сначала мы изложим формальную, а затем дадим краткое представление о молекулярной теории отражения и преломления света.