

## ГЛАВА VI

### ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

#### § 17. Естественный и поляризованный свет

Как было выведено в т. II, § 53, периодически колеблющийся электрический диполь  $\mathbf{p}(t)$  испускает во все стороны электромагнитные волны, как это показано на рис. 1.86. Волны, идущие вдоль радиуса-вектора  $\mathbf{r}$ , обладают тем свойством, что электрический вектор  $\mathbf{E}$  лежит всегда в плоскости, содержащей  $\mathbf{p}$  и  $\mathbf{r}$ , а магнитный вектор  $\mathbf{H}$  перпендикулярен к этой плоскости.

Взаимная ориентация векторов  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$  и  $\mathbf{r}$  (или вектора скорости волны  $\mathbf{v}||\mathbf{r}$ ) была выведена в т. II, § 50. На рис. 1.87 изображен «моментальный снимок» такого луча. Из чертежа видно, что во всех точках вдоль луча колебание вектора  $\mathbf{E}$  происходит в одной и той же плоскости, проходящей через луч и носящей название плоскости колебаний. Перпендикулярная к ней плоскость, в которой колеблется магнитный вектор  $\mathbf{H}$ , была условно названа плоскостью поляризации.

Луч, изображенный на рис. 1.87, носит название плоско(или линейно-) поляризованного.

Поперечность световых волн и существование поляризованных лучей были установлены еще до возникновения электромагнитной теории света. При этом длительное время шла дискуссия, в какой из этих двух плоскостей происходят поперечные деформации эфира. Лишь после создания электромагнитной теории света стало ясно, что колебания происходят в обеих взаимно перпендикулярных плоскостях, но колеблются в этих плоскостях разные векторы  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$ . Более того, в т. II, § 50 было показано, что колеб-

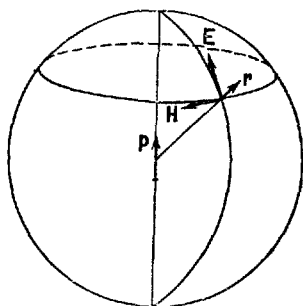


Рис. 1.86.

лющееся электрическое поле  $E$  обязательно создает колеблющееся магнитное поле  $H$  и обратно. Волна, в которой колеблется лишь один из векторов  $E$  или  $H$ , невозможна.

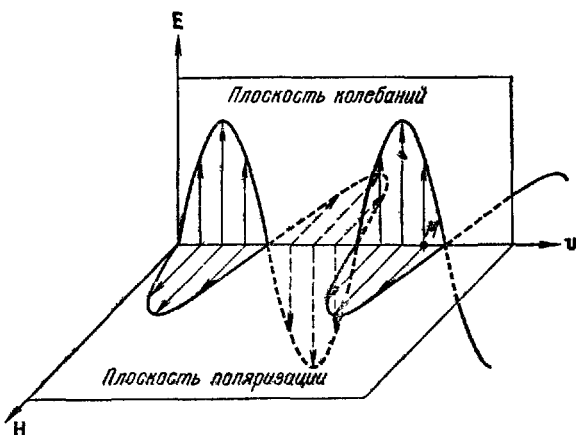


Рис. 1.87.

Поскольку на электрические заряды среды, в которой распространяется свет, действует в первую очередь электрический вектор  $E$ , то при изображении поляризованных лучей мы будем отмечать лишь направление колебаний этого вектора, не забывая об обязательном существовании перпендикулярного ему вектора  $H$ . На рис. 1.88, а показано обозначение (черточкой) луча, поляризованного в плоскости, перпендикулярной к плоскости чертежа, а на рис. 1.88, б — соответственно (точкой) луча, поляризованного в плоскости чертежа.

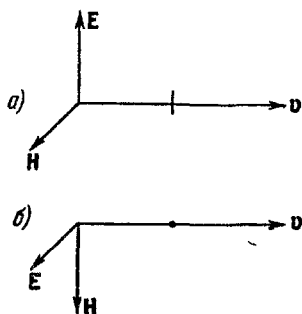


Рис. 1.88.

Электрон, вращающийся по орбите, как указывалось в т. II, § 46, обладает магнитным моментом  $p_m$ . Если радиус орбиты или скорость будут пульсировать, то получится колеблющийся магнитный диполь, также излучающий электромагнитные волны. Колебания электрических зарядов в излучающем атоме не всегда могут быть сведены к простейшему случаю колеблющегося диполя. Кроме дипольного возможно квадрупольное (четыре не совпадающих симметричных заряда) и более сложные типы излучений. В этом случае излучаемый свет уже не будет поляризован в одной определенной плоскости относительно луча и его мож-

но не будет поляризован в одной определенной плоскости относительно луча и его мож-

но представить как сумму двух поляризованных взаимно перпендикулярно лучей с закономерно сдвинутыми фазами. Простейшим случаем такого неплоскополяризованного луча будет луч, поляризованный по кругу.

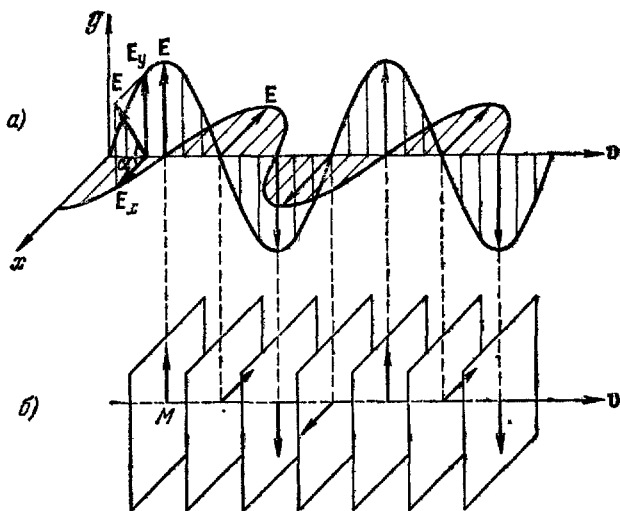


Рис 1.89

Представим себе, что в данном направлении  $v$  распространяются две плоскополяризованные волны одинаковой амплитуды  $A_1 = A_2 = A$ , сдвинутые по фазе на  $90^\circ$ , как показано на рис. 1.89, а.

Уравнения этих колебаний в точке  $M$  будут

$$E_x = A \cos \omega t$$

и

$$E_y = A \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = A \sin \omega t.$$

(17.1)

Результирующий вектор  $E$  будет равен геометрической сумме электрических векторов обеих волн:

$$E = E_x + E_y. \quad (17.2)$$

Из рис. 1.89, а видно, что угол  $\alpha$ , который вектор  $E$  составляет с осью  $x$ , определяется, согласно (17.1), как

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{E_y}{E_x} = \frac{A \sin \omega t}{A \cos \omega t} = \operatorname{tg} \omega t,$$

т. е.

$$\alpha = \omega t. \quad (17.3)$$

Величина же вектора  $E$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = A \sqrt{\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t} = A \quad (17.4)$$

остаётся постоянной.

Из (17.3) и (17.4) следует, что в точке  $M$  конец электрического вектора  $E$  равномерно вращается по кругу. Так же, очевидно, вращается и не показанный на чертеже магнитный вектор  $H \perp E$ . В соседней точке луча это вращение будет соответственно сдвинуто по фазе и при «моментальном» снимке концы векторов  $E$  (и  $H$ ) будут расположены по спирали вокруг луча. С течением времени вся эта «спираль» векторов будет равномерно смещаться вдоль своей оси (рис. 1.89, б).

То, что при сложении взаимно перпендикулярных колебаний может получиться вращение, а при сложении вращений может снова получиться колебание, уже указывалось в т. I, § 53.

Если амплитуды обеих взаимно перпендикулярных волн будут различны:  $A_1 \neq A_2$ , то получится эллиптически поляризованный луч — конец вектора  $E$  будет описывать эллипс.

Естественные источники света содержат огромное число атомов и молекул, возбужденных в различной степени. Одинаково возбужденные атомы излучают свет одной и той же частоты, но с самыми различными начальными фазами (см. § 10) и с различной ориентацией плоскости поляризации в пространстве. В результате в естественном монохроматическом луче вектор  $E$  (и  $H$ ) в каждой точке непрерывно и хаотически меняет свое направление в плоскости, перпендикулярной лучу. Разлагая этот вектор на две взаимно перпендикулярные составляющие  $E_x$  и  $E_y$ , мы тем самым можем представить естественный луч как наложение двух лучей, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Однако фазы обоих лучей непрерывно и хаотически меняются и не связаны друг с другом. В этом принципиальное отличие естественного луча от лучей, поляризованных по кругу, по эллипсу или иным, более сложным, но закономерным образом. Если каким-либо образом разделить оба луча, а затем свести их в одну плоскость, то они не будут интерферировать, так как являются некогерентными.

Общая интенсивность волны пропорциональна квадрату амплитуды. Из геометрического соотношения

$$E^2 = E_x^2 + E_y^2 \quad (17.5)$$

в этом случае следует, что интенсивность естественного луча равна просто сумме интенсивностей обоих поляризованных лучей, на которые он может быть разложен. Ввиду хаотичности величини-

ны и направления вектора  $E$ , интенсивности лучей, поляризованных в любых двух взаимно перпендикулярных плоскостях, в среднем одинаковы и

$$\overline{E_x^2} = \overline{E_y^2} = \frac{1}{2} \overline{E^2}. \quad (17.6)$$

Итак, любой естественный луч света не поляризован. Как же можно, имея лишь естественные источники света, выделять из общего потока лучи, поляризованные вполне определенным образом?

Покажем это сначала на механической аналогии. На рис. 1.90 изображена упругая нить, натянутая между двумя очень близкими жесткими параллельными пластинками. В точке  $S$  расположен источник, создающий поперечные колебания, распространяющиеся вдоль нити. Если плоскость колебаний параллельна пластинам  $P$  (рис. 1.90, а), то такие поперечные волны пройдут между пластинами, не задерживаясь. Если же плоскость колебаний перпендикулярна пластинам (рис. 1.90, б), то последние будут препятствовать поперечным колебаниям нити и не пропустят такую волну.

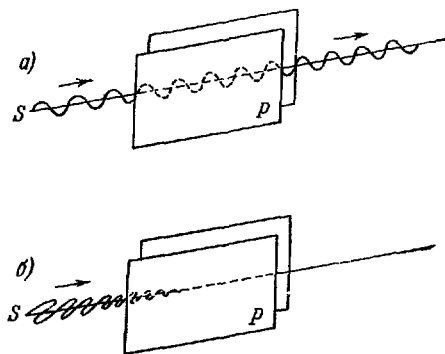


Рис. 1.90.

Аналогичные условия можно создать и для световых волн, если пропускать свет через среду, структура и свойства которой в различных направлениях, перпендикулярных лучу, различны. Другими словами, эта среда должна быть анизотропна. Такими средами для света являются преимущественно кристаллические тела с невысокой степенью симметрии.

## § 18. Получение поляризованных лучей

Действительно, при прохождении света через некоторые кристаллы удается пространственно разделить естественный луч на два поляризованных, выделить и исследовать каждый из них в отдельности. Этот способ был и исторически первым.

Если кристалл анизотропен, то его диэлектрические проницаемости по координатным осям, например  $\epsilon_x$  и  $\epsilon_y$ , могут быть различными (рис. 1.91). Различны будут и показатели преломления