§ 34. Поляризация плоской волны

Рассмотрим несколько детальнее, как происходит изменение векторов напряженности полей в плоской монохроматической волне. Для этого перейдем от комплексной формы записи к вещественным выражениям.

В формуле (33,22) напишем комплексную амплитуду $\boldsymbol{E}_0$ в виде

$$\boldsymbol{E}_0 = \boldsymbol{g}_1 + i\boldsymbol{g}_2,$$

где $\boldsymbol{g}_1$ и $\boldsymbol{g}_2$ — вещественные векторы. Тогда будем иметь

$$\begin{aligned} \boldsymbol{E} = \operatorname{Re}\{(\boldsymbol{g}_1 + i\boldsymbol{g}_2)[\cos(\omega t - \boldsymbol{kr}) + i\sin(\omega t - \boldsymbol{kr})]\} = \\ = \operatorname{Re}\{[\boldsymbol{g}_1\cos(\omega t - \boldsymbol{kr}) - \boldsymbol{g}_2\sin(\omega t - \boldsymbol{kr})] + \\ + i[\boldsymbol{g}_1\sin(\omega t - \boldsymbol{kr}) + \boldsymbol{g}_2\cos(\omega t - \boldsymbol{kr})]\} = \\ = \boldsymbol{g}_1\cos(\omega t - \boldsymbol{kr}) - \boldsymbol{g}_2\sin(\omega t - \boldsymbol{kr}). \quad (34.1) \end{aligned}$$

Перейдем теперь от векторов $\boldsymbol{g}_1$ и $\boldsymbol{g}_2$, ориентированных под произвольным углом друг к другу, к взаимно перпендикулярным векторам $\boldsymbol{E}_1$ и $\boldsymbol{E}_2$. Пусть

$$\boldsymbol{E}_1 = \boldsymbol{g}_1\cos\alpha + \boldsymbol{g}_2\sin\alpha, \quad (34,2)$$

$$\boldsymbol{E}_2 = \boldsymbol{g}_1\sin\alpha - \boldsymbol{g}_2\cos\alpha, \quad (34,3)$$

где α — некоторый угол, который нам следует найти. Перемножая выражения (34,2) и (34,3) скалярно, находим

$$\boldsymbol{E}_1\boldsymbol{E}_2 = 0 = (g_1^2 - g_2^2)\sin\alpha\cos\alpha - \boldsymbol{g}_1\boldsymbol{g}_2(\cos^2\alpha - \sin^2\alpha),$$

откуда

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\boldsymbol{g}_1\boldsymbol{g}_2}{g_1^2 - g_2^2}.$$

Написав

$$\boldsymbol{g}_1 = \boldsymbol{E}_1\cos\alpha + \boldsymbol{E}_2\sin\alpha, \qquad \boldsymbol{g}_2 = \boldsymbol{E}_1\sin\alpha - \boldsymbol{E}_2\cos\alpha$$

и подставляя в (34,1), находим

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}_1\cos(\omega t - \boldsymbol{kr} + \alpha) + \boldsymbol{E}_2\sin(\omega t - \boldsymbol{kr} + \alpha).$$

Пусть направление распространения волн выбрано за ось x. Если ориентировать ось y по вектору $\boldsymbol{E}_1$, то вектор $\boldsymbol{E}_2$ будет направлен по оси z (в положительную или отрицательную сторону). Тогда

$$E_y = E_1\cos(\omega t - kx + \alpha), \quad (34,4)$$

$$E_z = E_2\sin(\omega t - kx + \alpha). \quad (34,5)$$

Величины E_1 и E_2 называются амплитудами, а величина $\psi = (\omega t - kx + \alpha)$ — фазой волны.

Из формул (34,4) и (34,5) легко исключить фазу, написав

$$\frac{E_y}{E_1^2}+\frac{E_z}{E_2^2}=1. \tag{34.6}$$

Выражение (34,6) связывает между собой значения компонент вектора $\boldsymbol{E}$ в плоской волне. Очевидно, что в данной плоскости $x=\mathrm{const}$ вектор $\boldsymbol{E}$ вращается в плоскости (yz) так, что его конец описывает эллипс.

Формула (34,6) представляет уравнение этого эллипса. Если, в частности, амплитуды $\boldsymbol{E}_1$ и $\boldsymbol{E}_2$ равны по абсолютной величине, вектор $\boldsymbol{E}$ вращается по кругу.

Поскольку распространение электромагнитной волны происходит в направлении $\boldsymbol{n}$, можно наглядно представить себе изменение вектора $\boldsymbol{E}$ в пространстве и во времени, как движение конца вектора $\boldsymbol{E}$ по эллиптической (или круговой) спирали, навитой на линию $\boldsymbol{n}$. Шаг спирали равен длине волны $\lambda=\frac{2\pi}{k}$.

В силу формулы (33,24) для компонент напряженности магнитного поля можно написать выражения

$$H_y=-E_2\sin(\omega t-kx+\alpha), \tag{34,7}$$

$$H_z=E_1\cos(\omega t-kx+\alpha). \tag{34,8}$$

Волны, в которых векторы $\boldsymbol{E}$ и $\boldsymbol{H}$ вращаются по эллипсу, называются эллиптически поляризованными, при вращении их по окружности — поляризованными по кругу.

Направление вращения вектора $\boldsymbol{E}$ определяется фазой. Если вращение происходит по часовой стрелке для наблюдения смотрящего по направлению распространения волны, то такая волна называется имеющей положительную спиральность $(\alpha=-\pi/2)$.

Если один из векторов $\boldsymbol{E}_1$ или $\boldsymbol{E}_2$ равен нулю, изменение $\boldsymbol{E}$ и $\boldsymbol{H}$ происходит в взаимно перпендикулярных плоскостях. Такие волны называются поляризованными в плоскости. По историческим традициям, плоскостью поляризации называют плоскость, в которой колеблется вектор $\boldsymbol{H}$. Таким образом, например, волна, поляризованная в плоскости z, имеет отличную от нуля компоненту H_z, колеблющуюся в плоскости (xz) и равную ей по величине компоненту E_y, колеблющуюся в плоскости (xy).

§ 35. Интерференция и образование волновых пакетов

Рассмотренная выше монохроматическая плоская волна являлась лишь идеализацией реальных электромагнитных волн: с одной стороны, монохроматическая плоская волна, являющаяся процессом строго периодическим в пространстве и во вре-