Polarización

Planteamiento

Consideremos una onda OAP que se propaga en dirección $+\vec{x}$. Así, en cualquier punto del plano de fase[1] x_0, existirá un vector campo eléctrico $\vec{E}(x_0, t)$ contenido en dicho plano de fase, puesto que la onda (de luz) es **transversal**. A su vez, este vector campo eléctrico $\vec{E}(x_0, t)$, se puede descomponer en dos componentes mutuamente perpendiculares: $\vec{E}_y(x_0, t)$ y $\vec{E}_z(x_0, t)$, cada uno con intensidades (variables en el tiempo) dadas por:

$$\begin{cases} E_y(x_0, t) = E_y \sin(\omega t - kx_0 + \varphi_y) \\ E_z(x_0, t) = E_z \sin(\omega t - kx_0 + \varphi_z) \end{cases}$$

donde E_y y E_z representan las **amplitudes**, el valor máximo de las intensidades del campo eléctrico en las respectivas direcciones[2], y φ_y y φ_z las fases iniciales en el plano de fase $x = 0$. Notar ademas que $k \cdot x_0$ es una **constante**, por lo que las ecuaciones se pueden reescribir de forma más simplificada como:

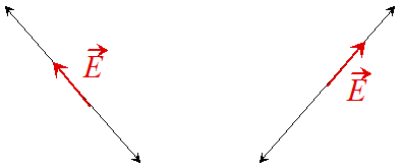
$$\begin{cases} E_y(x_0, t) = E_y \sin(\omega t - \phi_y) \\ E_z(x_0, t) = E_z \sin(\omega t - \phi_z) \end{cases}$$

siendo $\phi_y = kx_0 + \varphi_y$ y $\phi_z = kx_0 + \varphi_z$ las fases iniciales en el plano de fase $x = x_0$.

A continuación se analizan casos especiales de polarizaciones, es decir, estados particulares de oscilación del campo eléctrico que hacen que el extremo libre de vector $\vec{E}$, en cada punto del plano de fase, siga trayectorias reconocibles y simples a medida de que el tiempo varía.

Luz completamente polarizada

1. Linealmente polarizada.



$$\text{si: } \Delta\phi = \phi_z - \phi_y = \begin{cases} 0 \\ \pi \end{cases}$$

en cuyo caso la relación entre las intensidades de los campos eléctricos $E_z(x_0, t)$ y $E_y(x_0, t)$ quedan vinculadas entre si por:

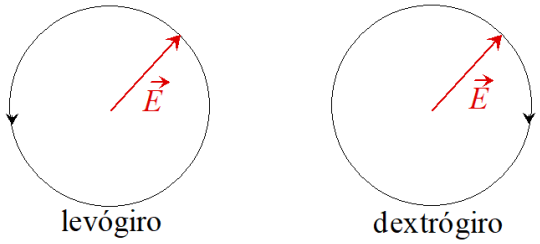
[1] Uno cualquiera de los infinitos planos de fase perpendiculares a los rayos paralelos al eje x.

[2] La intensidad máxima (= amplitud) del campo eléctrico $\vec{E}(x_0, t)$, para determinados instantes de tiempo, y para cada punto del plano de fase $x = x_0$, esta dada por: $E = \sqrt{E_y^2 + E_z^2}$.

$$E_z(x_0,t) = \left(\frac{E_z}{E_y}\right) E_y(x_0,t)$$

donde la orientación queda definida por la pendiente (coeficiente angular) $\dfrac{E_z}{E_y}$.

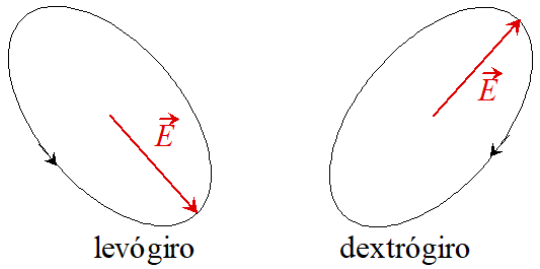
2. Circularmente polarizada.



$$\text{si: } \begin{cases} \Delta\phi = \phi_z - \phi_y = \pm\dfrac{\pi}{2} \\ E_y = E_z = E \end{cases}$$

El sentido de giro del vector[3] campo $\vec{E}$ es dextrógiro (horario) si $\Delta\phi = +\dfrac{\pi}{2}$, y levógiro (antihorario) si $\Delta\phi = -\dfrac{\pi}{2}$.

3. Elípticamente[4] polarizada.



Dentro de los casos "simples" es el más complejo. El extremo de vector campo eléctrico $\vec{E}(x_0,t)$ "dibuja" a medida de que varía el tiempo una elipse, dada en su forma más general por la ecuación:

$$\left(\frac{E_y(x_0,t)}{E_y}\right)^2 + \left(\frac{E_z(x_0,t)}{E_z}\right)^2 - \frac{2E_y(x_0,t)E_z(x_0,t)\cos(\Delta\phi)}{E_yE_z} = \sin^2(\Delta\phi)$$

[3]En realidad se trata de un fasor, un "vector giratorio".

[4]Los dos casos anteriores de polarización, lineal y circular, se consideran casos especiales de la polarización elíptica.

Observar que:

a) si $\Delta\phi = 0$ o $\Delta\phi = \pi$ la ecuación anterior se reduce a:

$$\left(\frac{E_y(x_0,t)}{E_y}\right)^2 + \left(\frac{E_z(x_0,t)}{E_z}\right)^2 - \frac{2E_y(x_0,t)E_z(x_0,t)}{E_yE_z} = 0 \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{E_y(x_0,t)}{E_y} - \frac{E_z(x_0,t)}{E_z}\right)^2 = 0$$

o sea:

$$E_z(x_0,t) = \left(\frac{E_z}{E_y}\right)E_y(x_0,t) \quad \text{(ecuación de una recta)}$$

b) si $E_y = E_z = E$ y ademas $\Delta\phi = \pm\frac{1}{2}\pi$, la ecuación de la elipse se reduce a:

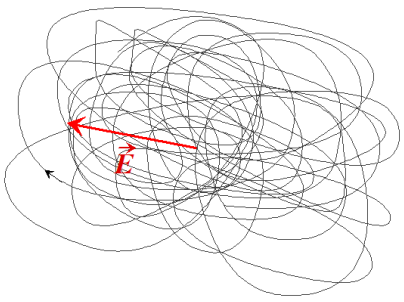
$$\left(\frac{E_y(x_0,t)}{E}\right)^2 + \left(\frac{E_z(x_0,t)}{E}\right)^2 = 1$$

o sea:

$$E_y^2(x_0,t) + E_z^2(x_0,t) = E^2 \quad \text{(ecuación de una circunferencia)}$$

Luz blanca (o natural)

Si la onda es estrictamente armónica (monocromática), la amplitud de la onda no varía en el tiempo, en cuyo caso el extremo del campo eléctrico, en un punto cualquiera del plano de fase, "dibuja" una elipse[5]. En tal caso se dice que la luz esta **completamente polarizada** (cp). En la naturaleza raramente es el caso. Lo que suele ocurrir naturalmente, es que la amplitud de la onda sea variable en el tiempo, es decir (como ya se mencionó): luz no monocromática sin polarización privilegiada. La luz natural pasa con cierta rapidez de un estado de polarización a otro de forma impredecible, y consecuentemente el extremo del vector campo eléctrico "dibuja" en el plano de fase una curva no reconocible y por demás compleja, como se ejemplifica (quizás exageradamente) en la siguiente figura.



Cuando la luz natural incide sobre un **polarizador** emerge luz linealmente polarizada, por lo que el campo eléctrico ($\vec{E}' = \vec{E}'_p + \vec{E}'_s$) de la luz que emerge del polarizador, cumple con las siguientes condiciones:

$$\begin{cases} E'_p = E_p \\ E'_s = 0 \end{cases}$$

De las condiciones anteriores se deduce que la luz emergente del polarizador: solo tiene componete paralela al plano de incidencia (p-polarizada), y "cancela" la componete perpendicular al plano de incidencia.

[5] O en su defecto, una circunferencia o segmento recto como casos especiales de la polarización elíptica.

Polarización parcial

La luz completamente polarizada y la luz natural representan dos extremos. Puede ocurrir con relativa normalidad que la luz adopte un estado intermedio, un estado parcialmente polarizada: es decir, que a pesar de que la luz "salta" entre distintos estados de polarizaciones, uno de ellos es más frecuente (pero no el único) que el resto de los otros estados de polarización. En la siguiente figura, el extremo del vector campo eléctrico "dibuja" una cuerva, que sugiere que el estado de polarización más frecuente (el "favorito") es el de polarización circular.

