

## **SERIE 4. Polarización**

**1.** Describa el estado de polarización representado por los siguientes grupos de ecuaciones:

**a)**  $E_x = E \sin(kz - \omega t)$

$E_y = E \cos(kz - \omega t)$

**b)**  $E_x = E \cos(kz - \omega t)$

$E_y = E \cos(kz - \omega t + \pi/4)$

**c)**  $E_x = E \sin(kz - \omega t)$

$E_y = -E \sin(kz - \omega t)$

**2.** Escriba las ecuaciones que describen las siguientes ondas:

**a)** Una onda linealmente polarizada cuyo plano de vibración forma un ángulo de  $45^\circ$  con el eje  $\mathbf{x}$ .

**b)** Una onda linealmente polarizada cuyo plano de vibración forma un ángulo de  $120^\circ$  con el eje  $\mathbf{x}$ .

**c)** Una onda circularmente polarizada en sentido horario.

**d)** Una onda elípticamente polarizada en sentido antihorario y tal que los ejes de la elipse coincidan con los ejes cartesianos  $\mathbf{x}$ - $\mathbf{y}$ , siendo la amplitud de la componente  $\mathbf{x}$  el triple de la correspondiente a la de la componente  $\mathbf{y}$ .

**3.** Considere la onda representada por:  $E_x = A \cos\left[2\pi\left(\frac{z}{\lambda} - \frac{t}{T} + \frac{1}{8}\right)\right]$ ;  $E_y = A \cos\left[2\pi\left(\frac{z}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)\right]$

Determine el módulo del vector óptico y el ángulo que dicho vector forma con el eje  $\mathbf{x}$  en los tiempos  $t = 0$  y  $t = T/4$ , en los puntos  $z = 0$ ,  $z = \lambda/4$ ,  $z = \lambda/2$ ,  $z = 3\lambda/4$  y  $z = \lambda$ .

**4.** Si un rayo de luz polarizada incide sobre dos placas polarizadoras que están orientadas de tal manera que no haya luz emergente, ¿qué pasa al colocar entre ambas una tercera placa polarizadora? ¿Habrá luz transmitida? Si la hay, ¿se puede conocer su intensidad?

**5.** ¿Con qué ángulo debe incidir luz sobre una superficie de agua para que la luz reflejada esté totalmente polarizada? ¿Depende o no dicho ángulo de la longitud de onda de la luz?

**6.** Un rayo de luz blanca incide sobre una placa de vidrio con un ángulo de  $58^\circ$ . El rayo reflejado está totalmente polarizado. ¿Cuál es el ángulo con que se refracta la luz transmitida?

**7.** Sobre una lámina plano-paralela de vidrio ( $n = 1,5$ ) incide luz elípticamente polarizada con un ángulo de incidencia  $\theta$ .

**a)** ¿Para qué valores de  $\theta$  el haz reflejado en la primera cara está linealmente polarizado?

**b)** Si el rayo reflejado de intensidad  $I_0$  incide sobre un polaroid que forma un ángulo de  $30^\circ$  con el plano de vibración, ¿cuál es la intensidad emergente del polaroid?

8. Incide luz linealmente polarizada sobre la superficie de separación de 2 medios transparentes. ¿Qué condición se debe cumplir para que toda la luz se transmita?

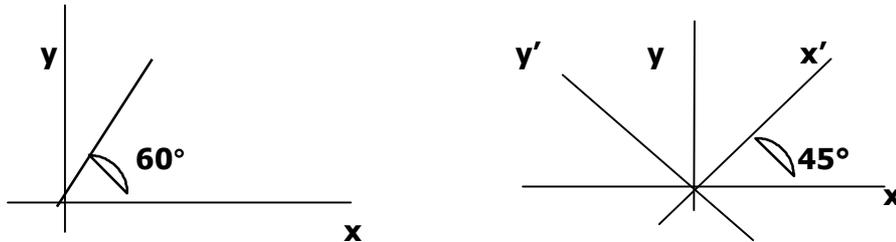
Un material **birrefringente** presenta una velocidad de propagación  $c/n_{\perp}$  para luz polarizada en una dirección perpendicular al eje óptico, y  $c/n_{\parallel}$  para luz polarizada en una dirección paralela al eje óptico, para un cierto  $\lambda_{\text{vacío}}$ .

8. Demuestre que si un haz de luz circularmente polarizada se hace incidir sobre una lámina de cuarto de onda, se obtiene un haz linealmente polarizado. Si se invierte el sentido de giro de la luz circularmente polarizada, demuestre que el plano de la luz emergente gira  $90^\circ$ .

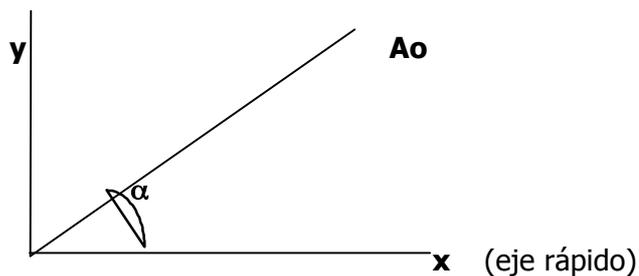
9. Luz monocromática linealmente polarizada incide normalmente sobre una lámina de cuarto de onda. La vibración incidente forma un ángulo de  $60^\circ$  con el eje rápido de la lámina (eje x).

a) Halle la vibración que abandona la lámina.

b) (Opcional) Esta vibración se hace incidir sobre una lámina similar a la anterior cuyo eje rápido (eje  $x'$ ) forma un ángulo de  $45^\circ$  con el anterior. Halle la vibración que abandona esta segunda lámina.



10. Sobre una **placa de cuarto de onda** inciden dos haces de luz linealmente polarizada y en fase. Uno de ellos incide perpendicularmente polarizado respecto del eje rápido (x) y con una amplitud  $E_0$ . El otro haz de amplitud  $A_0$  incide con un ángulo  $\alpha$  respecto del eje x. Considerando  $E_0$  como dato, halle  $\alpha$  y  $A_0$  para que la luz emergente de la placa esté circularmente polarizada con una amplitud  $2E_0$ .



11. Sobre una **lámina birrefringente** inciden dos haces de luz circularmente polarizada de frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ , uno en sentido horario y el otro en sentido antihorario. La lámina produce un desfase de un cuarto de onda para la radiación de longitud de onda  $\lambda_1$ , y uno de media onda para la radiación de longitud de onda  $\lambda_2$ .

a) ¿Cuál es el estado de polarización de ambos haces al salir de la lámina?

**b)** ¿Qué ángulo debe formar con el eje  $x$  de la lámina un polaroid que se pone después de la misma para que sólo se pueda observar la radiación de longitud de onda  $\lambda_2$ ? Considere que el eje  $x$  es el rápido para las dos radiaciones.

**12.** Luz elípticamente polarizada en sentido antihorario incide sobre una lámina birrefringente de espesor  $d = 100 \lambda$ . Luego de atravesar la lámina, la luz sale elípticamente polarizada en sentido horario.

**a)** Escriba las componentes de la luz antes y después de incidir sobre la lámina.

**b)** Halle la diferencia entre los índices de refracción de la lámina.

**c)** ¿Qué se observa si se analiza la luz con un polaroid?

**13.** Un material birrefringente es cortado conteniendo al eje óptico en su plano. Los índices de refracción son  $n_{\perp} = 1.523$  y  $n_{\parallel} = 1.525$  en sentido perpendicular y paralelo al eje óptico respectivamente.

**a)** Calcule el espesor mínimo que se necesita para que la lámina sea de cuarto de onda para luz cuya longitud de onda en vacío es  $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$ .

**b)** ¿Qué múltiplos de este espesor también serán láminas de cuarto de onda para  $\lambda_0$ ?

**c)** En general, la lámina será de cuarto de onda para otros valores de  $\lambda$ . ¿Por qué?

**14.** Un haz de luz polarizada incide normalmente sobre una lámina de cuarto de onda, estando su estado de polarización dado por:

$$E_x = E \sin(kz - \omega t)$$

$$E_y = E \sin(kz - \omega t - \pi/2)$$

**a)** ¿Qué se observa al hacer girar un polaroid analizador a la salida de la lámina? ¿Por qué?

**b)** Si la luz que sale de la lámina se hace incidir sobre otra lámina de cuarto de onda cuyos ejes forman  $45^\circ$  con los ejes de la primera lámina, ¿qué tipo de polarización espera obtener a la salida de la segunda lámina? ¿Qué observaría al hacer girar un analizador a la salida de la segunda lámina?

## Problemas Adicionales

**1.** Luz compuesta por dos longitudes de onda  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  incide sobre una lámina de cuarto de onda para  $\lambda_1$ . La luz incidente tiene polarización circular antihoraria y la que tiene  $\lambda_2$  tiene polarización circular horaria. Considere que los índices de refracción de la lámina no varían significativamente con la longitud de onda.

**a)** Escriba las expresiones matemáticas que describen la luz incidente y la luz emergente de la lámina. Especifique el tipo de polarización y las características de la luz emergente de la lámina.

**b)** Después de la lámina se tiene luz de longitud de onda  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ . ¿Cómo habría que proceder experimentalmente para eliminar después de la lámina la luz con longitud de onda  $\lambda_1$ ? ¿Con qué polarización quedará finalmente  $\lambda_2$ ?

Datos:  $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$  ;  $\lambda_2 = 600 \text{ nm}$ .

**2.** Un haz de luz blanca polarizada linealmente incide normalmente sobre una placa de cuarzo de 0,865 mm de espesor cortada paralelamente al eje óptico. El plano del campo eléctrico forma un ángulo de  $45^\circ$  con el eje óptico de la placa (eje x). Los índices principales de refracción del cuarzo para la luz de sodio son:  $n_e = 1,5533$  y  $n_o = 1,5442$ . Considere despreciable la variación del índice de refracción con la longitud de onda.

- a)** ¿Qué longitudes de onda entre 600 nm y 700 nm emergen de la placa polarizadas linealmente?  
**b)** Suponga que el haz emergente de la placa pasa a través de un polarizador cuyo eje de transmisión es perpendicular al plano de vibración de la luz incidente. ¿Qué longitudes de onda faltan en el haz transmitido?

**3.** Suponga que cuenta con un polarizador, una lámina de cuarto de onda para  $\lambda_0 = 780$  nm y una fuente de luz no polarizada de 780 nm y quiere obtener luz circularmente polarizada antihoraria.

- a)** ¿Cómo dispondría experimentalmente estos tres elementos para lograr su objetivo? Escriba las expresiones de las componentes del campo eléctrico a la salida de la lámina y del polarizador. Use esto para justificar su respuesta.  
**b)** ¿Qué polarización habría tenido la luz saliente de su dispositivo experimental si la luz hubiese sido de 390 nm? Suponga que los índices de refracción de la lámina no varían significativamente con  $\lambda$ . Justifique.

**4.** Sobre una platina de  $1/8$  de onda ( $\lambda_0/8$ ) incide normalmente una vibración monocromática elípticamente polarizada en sentido horario. Las componentes  $E_x$  y  $E_y$  del vector eléctrico están relacionadas con la expresión:

$$\frac{E_x^2}{9} - \frac{\sqrt{2}}{12} E_x E_y + \frac{E_y^2}{16} = \frac{1}{2}$$

- a) Dé las expresiones para las componentes  $E_x$  y  $E_y$  de la onda incidente.  
 b) Describa completamente (componentes, sentido de giro, ángulo) el estado de polarización de la vibración que sale de la lámina cuando:
  - i) el eje rápido es el y
  - ii) el eje rápido es el x.