

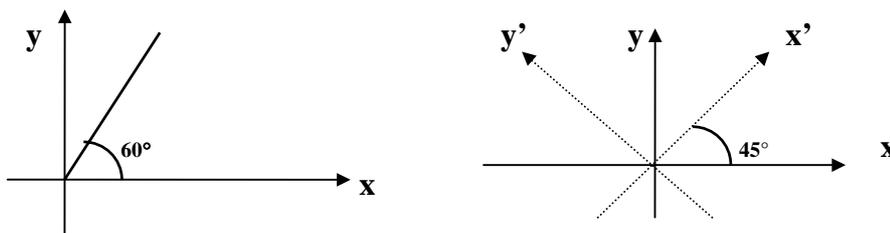
## Física II (Biólogos y Geólogos)

### SERIE 4

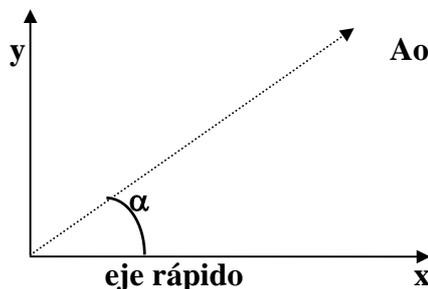
## Polarización

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  $x$ .
  - b) Una onda linealmente polarizada cuyo plano de vibración forma un ángulo de  $120^\circ$  con el eje  $x$ .
  - 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  $x$ - $y$ , siendo la amplitud de la componente  $x$  el triple de la correspondiente a la de la componente  $y$ .
3. Considere la onda representada por:
$$\mathbf{E}_x = A \cos\left[2\pi\left(\frac{z}{\lambda} - \frac{t}{T} + \frac{1}{8}\right)\right] ; \mathbf{E}_y = A \cos\left[2\pi\left(\frac{z}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)\right]$$
Determine el módulo del vector óptico y el ángulo que dicho vector forma con el eje  $x$  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? ¿Habrà 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. 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.  
Demuestre que si se invierte el sentido de giro de la luz circularmente polarizada, 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 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  $\lambda_{\text{vacío}}$ .
- Una lámina es cortada conteniendo al eje óptico en su plano. Calcule el espesor mínimo que se necesita para que la lámina sea de cuarto de onda, sabiendo que  $n_{\perp} = 1,523$ ;  $n_{\parallel} = 1,525$  y  $\lambda_{\text{vacío}} = 5000 \text{ \AA}$ .
  - ¿Qué múltiplos de este espesor también serán láminas de cuarto de onda para dicho  $\lambda_{\text{vacío}}$ ?
  - En general, la lámina será de  $\lambda/4$  para otros valores de  $\lambda_{\text{vacío}}$ . ¿Por qué?
14. Un haz de luz polarizada incide normalmente sobre una lámina de cuarto de onda, estando su estado de polarización dado por:
- $$E_x = E \sin(kz - \omega t)$$
- $$E_y = E \sin(kz - \omega t - \pi/2)$$
- ¿Qué se observa al hacer girar un polaroid analizador a la salida de la lámina? ¿Por qué?
  - 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?
15. El poder rotatorio específico para la sacarosa disuelta en agua con una concentración de  $1^{\text{gr}}/\text{cm}^3$  es  $66,45^\circ$  cada 10 cm de trayectoria atravesada por la luz para la longitud de onda  $\lambda = 5893 \text{ \AA}$ .
- ¿Con qué orientación emergerá un haz que incide linealmente polarizado al atravesar un tubo de 1 m de largo que contiene  $1000 \text{ cm}^3$  de solución de sacarosa de concentración  $0,019 \text{ gr}/\text{cm}^3$ ?
  - Describa las ondas linealmente polarizadas incidente y emergente como superposición de dos ondas circularmente polarizadas.
16. Una sustancia ópticamente activa tiene un poder rotatorio de  $\alpha = 10^\circ \text{ cm}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  para una longitud de onda de  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ .
- Si incide luz de  $5000 \text{ \AA}$  linealmente polarizada según el eje  $x$ , propagándose a lo largo del eje  $z$  de un tubo de 10 cm de longitud, el cual contiene una solución 0,1 molar de la sustancia ópticamente activa, ¿cómo estará polarizada la luz a la salida del tubo?
  - Si la intensidad de la luz incidente es  $I_0$  y el coeficiente de absorción de dicha solución es  $\beta = 0,02 \text{ cm}^{-1}$ , calcule  $I/I_0$  para la luz que emerge.
  - Si la amplitud entrante es  $E_0 = I_0^{1/2}$ , escriba las componentes de la luz emergente tomando en cuenta la rotación y la absorción.
  - Si la luz incidente tiene dos componentes:  $\lambda_1 = 5000 \text{ \AA}$  y  $\lambda_2 = 6000 \text{ \AA}$ , y el poder rotatorio para  $\lambda_2$  de  $\alpha(6000\text{\AA}) = 10,2^\circ \text{ cm}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ , sin considerar efectos de absorción, analice:
    - ¿podrá separar los colores por medio de un analizador?
    - ¿qué fracción de intensidad de luz pura de  $6000 \text{ \AA}$  obtendrá?

## Problemas adicionales

- 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:  $\lambda_1 = 4000 \text{ \AA}$  ;  $\lambda_2 = 6000 \text{ \AA}$ .

2. 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:

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:

1) el eje rápido es el y ; 2) el eje rápido es el x.

3. Un haz de luz blanca polarizada linealmente incide normalmente sobre una placa de cuarzo de  $0,865 \text{ mm}$  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  $6000 \text{ \AA}$  y  $7000 \text{ \AA}$  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?

4. Suponga que cuenta con un polarizador, una lámina de cuarto de onda para  $\lambda_0 = 7800 \text{ \AA}$  y una fuente de luz no polarizada de  $7800 \text{ \AA}$  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  $3900 \text{ \AA}$ ? Suponga que los índices de refracción de la lámina no varían significativamente con  $\lambda$ . Justifique.

5. a) Se ilumina normalmente una red de difracción con luz compuesta por longitudes de onda  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  ( $\lambda_2 > \lambda_1$ ). Para el orden 5 de interferencia por difracción se obtiene una separación angular entre ambas líneas de  $2,418^\circ$ . Si  $\lambda_1 = 5800 \text{ \AA}$ , ¿cuánto vale  $\lambda_2$ ?

La red tiene 1000 líneas y mide  $4 \text{ cm}$ .

b) Si esa misma luz compuesta por ambas longitudes de onda se hace pasar por un polarizador y luego por una lámina de cuarzo cuyos ejes forman  $45^\circ$  con el eje del polarizador, se observa que la longitud de onda  $\lambda_1$  sale circularmente polarizada. ¿Qué desfase introduce la lámina a  $\lambda_2$ ?

(Desprecie la variación de los índices de refracción del cuarzo con la longitud de onda).