

# POLARIZACIÓN

## Descripción geométrica

1. ¿Cuándo dos ondas transversales, perpendiculares entre sí, dan una onda:

- linealmente polarizada;
- circularmente polarizada en sentido antihorario;
- circularmente polarizada en sentido horario;
- elípticamente polarizada en sentido antihorario?

Utilice el formalismo vectorial.

2. Escriba la expresión matemática de:

- a) Una onda linealmente polarizada cuyo plano de polarización forma un ángulo de  $30^\circ$  con el eje  $x$  (se propaga según el eje  $z$ ). Utilice el formalismo de matrices de rotación.
- b) Una onda que se propaga según el eje  $x$ , polarizada circularmente en sentido horario.
- c) Una onda elípticamente polarizada en sentido horario, que se propaga según el eje  $x$ , tal que el eje mayor, que es igual a dos veces el eje menor, está sobre el eje  $y$ .
- d) Una onda elípticamente polarizada en sentido antihorario. La onda se propaga según el eje  $x$  positivo (use terna directa).

3. Demuestre que siempre se puede describir una onda, cualquiera sea su polarización, como suma de dos ondas circularmente polarizadas en sentidos horario y antihorario.

4. Incide un haz de luz natural de intensidad  $I_0$  sobre un polarizador lineal (ideal). ¿Qué intensidad se transmite? ¿Por qué?

## Polarizador

5. Se hace incidir luz plano polarizada normalmente sobre un polarizador lineal. Al ir rotando la lámina, ¿cómo varían el estado de polarización y la intensidad del haz transmitido? Indique a partir de qué dirección mide el ángulo de giro.

6. Una onda inicialmente polarizada según  $x$  y viajando según  $z$  positivo incide en un polarizador cuyo eje de transmisión forma un ángulo  $\alpha$  con el eje  $x$ , y luego pasa por un segundo polarizador que forma un ángulo  $\beta$  con el primer. ¿Cuál es la expresión de la onda transmitida en los ejes originales? ¿Y en los ejes del segundo polarizador? ¿Cómo son las respectivas matrices que describen al sistema? ¿Cuál es la intensidad media transmitida por el sistema?

7. Sobre un polarizador incide una onda circularmente polarizada en sentido horario. ¿Cuál es el estado de polarización de la onda transmitida? ¿Qué fracción de la intensidad incidente se transmitió a través de la lámina? Justifique.

8. Sobre un polarizador lineal (ideal) incide una onda cuyo estado de polarización no se conoce, con una intensidad  $I_0$ . Se hace girar esa lámina y se observa que la intensidad transmitida es  $I_0/2$  y no depende del ángulo de giro. ¿Qué puede decir sobre el estado de polarización de la onda incidente? Justifique.

## Ley de Malus

9. Dos polarizadores están orientados de manera que se transmita la máxima cantidad de luz. ¿A qué fracción de este valor máximo se reduce la intensidad de la luz transmitida cuando se gira el segundo polarizador en: (a)  $20^\circ$ , (b)  $45^\circ$ , (c)  $60^\circ$ ?
10. Se tienen dos polarizadores. ¿Cuál es el ángulo formado por sus ejes de transmisión si al incidir un haz de luz natural sobre el primero, se transmite una intensidad igual a la cuarta parte de la que tenía la luz incidente?
11. Se tienen dos polarizadores cuyos ejes de transmisión forman un ángulo de  $45^\circ$ . Sobre el primero incide una onda circularmente polarizada en sentido horario. ¿Qué fracción de la intensidad incidente se transmitió a la salida del segundo polarizador?

## Ángulo de Brewster

12. Incide un haz de luz linealmente polarizada sobre la superficie de separación de dos medios transparentes. ¿Qué condiciones deben cumplirse para que ese haz se transmita totalmente hacia el segundo medio?
13. Un haz de luz circularmente polarizada en sentido horario incide con el ángulo de polarización sobre la superficie de separación de dos medios transparentes (considere medios lineales, isótrops y homogéneos). ¿Cuál es el estado de polarización del haz reflejado? ¿Y del transmitido? Justifique.
14. Sobre una superficie de separación entre dos medios de índices  $n_1$  y  $n_2$  (con  $n_1 > n_2$ ), incide un rayo desde el medio  $n_1$ .
  - a) ¿Cuál es el ángulo de incidencia crítico a partir del cual se produce reflexión total?
  - b) ¿Cuál es el ángulo de polarización?
  - c) ¿Es posible que el ángulo de polarización sea mayor que el ángulo crítico? Justifique físicamente y analíticamente.
15. Sobre una lámina de vidrio de caras paralelas y de índice  $n$ , colocada en aire, se hace incidir luz elípticamente polarizada con el ángulo de polarización. Se analiza el haz reflejado.
  - a) ¿Cuál es su estado de polarización?
  - b) Ahora, sin modificar la dirección del haz incidente, se sumerge a la lámina parcialmente en agua, de forma tal que sobre la cara superior hay aire. ¿Cuál es el estado de polarización del haz reflejado?
  - c) Ahora se sumerge la lámina totalmente en el agua, sin modificar la dirección del haz que incide sobre la lámina. ¿Cuál es el estado de polarización del haz reflejado? ¿Cómo podría lograr que la polarización del haz reflejado fuera linealmente polarizado?
16. Un fotógrafo desea fotografiar a través de una ventana la mesa que se encuentra en el interior de un restaurant pero sistemáticamente en su cámara observa el árbol que está afuera
  - a) Justifique porque observa preferencialmente el árbol respecto del interior
  - b) ¿Qué elemento óptico podría usar para poder sólo observar el interior? ¿Bajo qué condiciones lo logrará? Justifique.

## Láminas retardadoras

17. Se hace incidir luz circularmente polarizada en sentido horario sobre una lámina retardadora de cuarto de onda ( $+\lambda/4$ ). ¿Cuál es el estado de polarización de la luz al emerger de la misma?
18. Sobre una lámina de cuarto de onda incide un haz de luz natural de intensidad  $I_0$ . ¿Con qué estado de polarización emerge? ¿Cuál es su intensidad? Justifique.

19. Incide luz plano polarizada sobre una lámina de cuarto de onda. El plano de polarización es paralelo al eje óptico de la misma. ¿Cuál es el estado de polarización de la luz que emerge de la lámina?
20. Una onda linealmente polarizada incide sobre una lámina de media onda ( $+\lambda/2$ ). El plano de polarización forma un ángulo de  $30^\circ$  con el eje óptico de la lámina (considere que el eje óptico es el eje rápido). ¿Cuál es el estado de polarización de la luz que sale de la misma? Para resolver utilice matrices de rotación.
21. Incide luz elípticamente polarizada en sentido antihorario sobre una lámina de cuarto de onda. A medida que se va rotando la lámina retardadora, ¿cuál es el estado de polarización de la luz que emerge?
22. Sobre una lámina de cuarto de onda incide normalmente una vibración monocromática elípticamente polarizada. Las componentes  $E_x$  y  $E_y$  del vector campo eléctrico están relacionadas por:

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

Considere que  $x$  es el eje óptico de la lámina, y que dicho eje es el rápido.

- a) Hallar el estado de polarización de dicha vibración a la salida de la lámina.
- b) Se coloca detrás de la lámina un polarizador cuyo eje óptico forma  $30^\circ$  con el eje óptico de la lámina. Hallar la vibración que abandona el polarizador, ¿cuál es el porcentaje de energía perdido en la lámina y cuál en el polarizador?

## Analizador: láminas + polarizador

23. ¿Cómo puede hacerse para analizar luz elípticamente polarizada? ¿Por qué?
24. ¿Cuál es la diferencia que existe entre luz parcialmente polarizada y luz elípticamente polarizada? ¿Cómo se puede hacer para distinguirlas?
25. Se tienen dos fuentes luminosas: i) una de luz natural, y ii) otra que consiste en la superposición de luz natural con una onda monocromática de una longitud de onda  $\lambda$  conocida, circularmente polarizada. ¿Cómo puede Ud. saber cuál es i) y cuál es ii)? Para ello Ud. dispone de polaroids, láminas de media onda y láminas de cuarto de onda (todos los que quiera). Especifique claramente qué elementos utilizaría para distinguirlas y justifique.
26. Un alumno de laboratorio 2 necesita utilizar una fuente de luz circularmente polarizada derecha lo más potente posible. Sin embargo, sólo dispone de una fuente de luz elípticamente polarizada izquierda tal que el eje mayor de la perturbación es cuatro veces el eje menor. Además dispone de los siguientes elementos: i) dos láminas iguales de cuarto de onda y ii) un polaroid.
  - a) Establezca, justificando claramente su elección, los elementos que utilizaría, en qué orden, y con qué objetivos, para lograr la fuente que necesita. No olvide que se quiere que la fuente sea lo más potente posible.
  - b) Elija un sistema de coordenadas, y en un plano perpendicular a la dirección de propagación dibuje la evolución temporal de la perturbación incidente. Escriba el vector que representa a dicha perturbación.
  - c) Calcule el ángulo que los ejes de cada elemento deben formar con los ejes propios de la perturbación incidente y el ángulo que los ejes propios de la perturbación emergente de cada elemento forman con los ejes propios de la perturbación incidente.
27. Se tiene un haz de luz monocromática linealmente polarizada y se desea diseñar un dispositivo que logre rotar el vector campo eléctrico a  $90^\circ$  del inicial, de forma tal que la intensidad a la salida sea aproximadamente la misma que a la entrada. Para armar dicho dispositivo usted dispone de láminas de cuarto de onda y polaroids.
  - a) Diga qué elementos usaría, en qué orden y con qué objetivos.

- b) Calcule los ángulos entre los ejes propios de cada elemento y la dirección del campo incidente y la polarización del campo eléctrico a la salida de cada elemento.
- c) ¿Podría lograr el mismo objetivo si en lugar de disponer de láminas de cuarto de onda y polaroids, dispusiera de láminas de media onda y polaroids? De ser así, ¿qué elementos usaría? Justifique claramente su respuesta.
28. Se tiene un haz de luz monocromática y linealmente polarizada. A partir de ella se desea obtener luz elípticamente polarizada en sentido antihorario, mediante una lámina de  $+1/4$  de onda. Se desea que el eje mayor de la elipse sea tres veces el eje menor. Hallar el ángulo que debe formar el plano de polarización de la luz incidente con el eje rápido de la lámina para que el campo eléctrico a la salida de la lámina tenga la polarización pedida (si más de un valor es posible, alcanza con que dé uno de ellos). ¿Cuáles son los ejes de la elipse?
29. Se tiene un dispositivo compuesto por una fuente que emite luz de frecuencias  $\omega_1$  y  $\omega_2$ , un polarizador y dos láminas retardadoras de idénticas características. Cada una de éstas se comporta como lámina de cuarto de onda para la luz incidente de frecuencia  $\omega_1$  y como lámina de media onda para la frecuencia  $\omega_2$ .
- a) ¿Que relación deben cumplir  $\omega_1$  y  $\omega_2$  para que las láminas retardadoras puedan tener la propiedad mencionada?
- La luz emitida por la fuente incide sobre el polarizador; el eje de transmisión del mismo tiene una dirección conocida. Seguidamente al polarizador se coloca una de las láminas retardadoras con su eje rápido formando un ángulo de  $+30^\circ$  respecto del eje de transmisión del polarizador. A continuación se ubica la segunda lámina con su eje rápido formando un ángulo de  $+30^\circ$  respecto del eje rápido de la primera lámina (es decir, a  $+60^\circ$  del eje de transmisión del polarizador).
- b) Escriba la amplitud del campo eléctrico a la salida de cada elemento (lámina o polarizador) para ambas frecuencias. Indique el tipo de polarización que se tiene en cada caso.
30. Se tiene una interfase plana entre aire y vidrio ( $n = 1,5$ ). A cierta distancia de la misma, se coloca una fuente que emite una onda monocromática. Dicha onda se propaga en la dirección  $z$ , está elípticamente polarizada en sentido antihorario, siendo su eje mayor tres veces el eje menor, e incide sobre la interfase luego de atravesar una lámina de  $+1/4$  de onda (ver figuras). La lámina de  $+1/4$  de onda puede girarse, lo mismo que la fuente. Se desea que no haya onda reflejada.
- a) ¿Cuál debería ser la polarización del campo a la salida de la lámina para que esto sea factible? Teniendo esto en cuenta:
- b) Diga cómo debe orientarse la fuente con respecto a los ejes de la lámina. Es decir, halle cuál debe ser el ángulo  $\alpha$  formado entre el eje mayor de la elipse y el eje rápido de la lámina ( $x_L$ ). Halle el campo a la salida de la lámina.
- halle el ángulo de incidencia ( $\theta$ )
  - halle el ángulo que debe formar el eje  $y_L$  de la lámina con la dirección perpendicular al plano de incidencia.

**Obs.:** escriba claramente la expresión del campo eléctrico a la entrada y a la salida de la lámina, indicando el o los sistemas de coordenadas que usa.