

preguntas

1. Describir la forma que tendría el medio ambiente si todos los objetos fuesen totalmente absorbentes. Si uno estuviese sentado en una silla dentro de un cuarto, ¿podría observar algo? Si una persona entrase al cuarto, ¿se le podría ver?
2. ¿Se esperaría que las ondas de sonido cumplan con las leyes de la reflexión que cumplen las ondas luminosas? Discutir la propagación de las ondas esféricas y cilíndricas utilizando el principio de Huygens. ¿Se aplica el principio de Huygens a las ondas de sonido en el aire? Si el principio de Huygens predice las leyes de la reflexión y de la refracción, ¿por qué es necesario o conveniente interpretar a la luz como una onda electromagnética, con toda la complejidad que esto implica?
3. Explicar por qué se ve alargada la imagen de una luz de la calle al observarla por reflexión en un cuerpo de agua que tienen pequeñas ondulaciones.
4. Explicar por qué se ensancha el haz luminoso de la Fig. 43-1a al entrar en el agua.
5. ¿En qué porcentaje difiere la rapidez de la luz azul en el cuarzo fundido con respecto a la de la luz roja?
6. ¿Se pueden utilizar (a) los fenómenos de reflexión o (b) los fenómenos de refracción para determinar la longitud de onda de la luz?
7. ¿Cómo se pueden determinar los índices de refracción, respecto del agua, de los medios que aparecen en la Tabla 43-1, partiendo de los datos de la tabla?
8. Se cuenta con un cubo de vidrio; ¿cómo se puede determinar la rapidez de la luz (proveniente de una fuente luminosa de sodio) en el cubo?
9. Describir y explicar lo que observa un pez cuando mira en diferentes direcciones por encima de su "horizonte".
10. ¿En qué forma decidió entre las teorías ondulatoria y corpuscular de la luz la medida realizada por Foucault de la rapidez de la luz en el agua?
11. ¿Por qué el diamante centellea más que una imitación de vidrio cortada en la misma forma?
12. ¿Resulta razonable que la longitud de onda de la luz cambie al pasar del aire al vidrio, pero que no cambie su frecuencia? Explicar con detalle.
13. La luz tiene (a) longitud de onda, (b) frecuencia y (c) rapidez. ¿Cuál de estas cantidades no cambia, si es que alguna no cambia, cuando la luz pasa del vacío a un trozo de vidrio?
14. ¿Por qué es que en la reflexión y en la refracción los rayos reflejado y refractado se encuentran en el plano definido por el rayo incidente y la normal a la superficie? ¿Existen algunas excepciones a este comportamiento?
15. ¿Qué es lo que causa los espejismos? ¿Tiene algo que ver con el hecho de que el índice de refracción del aire no sea constante, sino que varíe con su densidad? Véase "Mirages" de Alistair B. Fraser y William B. Mach, *Scientific American*, enero de 1976.
16. Diseñar un periscopio que haga uso de la reflexión interna total. ¿Qué ventajas tendrá este instrumento comparado con uno que use espejos plateados?
17. ¿Qué características debe tener un material para que funcione como una "tubería de luz" eficaz?
18. Cierta cepillo de dientes tiene un mango de plástico rojo con cerdas de nylon. Las puntas de las cerdas se ven de color rojo (pero no las cerdas mismas). Explicar por qué.
19. Discutir por qué se forma el arco iris. Véase "The Theory of the Rainbow" por H. Moysés Nussenzveig, *Scientific American*, abril de 1977.
20. ¿Por qué las fibras ópticas son potencialmente más eficientes para el transporte de información que las microondas o los cables? Pensar en las frecuencias involucradas.
21. ¿Qué significa "longitud de camino óptico"? ¿Puede suceder que la longitud de camino óptico sea, en algún caso, menor que la longitud del camino geométrico? ¿Y mayor?
22. Cuando se observa la luz transmitida por una solución de sulfato de cobre, se ve de color azul. ¿Significa esto que la solución de sulfato de cobre absorbe selectivamente a la luz azul? Discutir la respuesta.
23. Si usted estuviese graduado en literatura inglesa y tuviese interés en James Joyce, ¿qué significado le daría a las letras *alp* y *hce* que aparecen en las Figs. 43-8 y 43-9?

SECCION 43-1 REFLEXION Y REFRACCION

problemas

- 1. La longitud de onda de la luz amarilla del sodio en el aire es de 5890 Å. (a) ¿Cuál es su frecuencia? (b) ¿Cuál es su longitud de onda en un vidrio cuyo índice de refracción es de 1.52? (c) De los resultados de (a) y (b), encontrar su rapidez en este vidrio.
Respuesta: (a) 5.1×10^{14} Hz. (b) 3880 Å. (c) 1.98×10^8 m/s.
- 2. Probar que si un espejo gira un ángulo α , el haz reflejado gira un ángulo 2α . ¿Es este resultado razonable en el caso $\alpha = 45^\circ$?
- 3. Ptolomeo, que vivió en Alejandría hacia el final del primer siglo, dejó los siguientes valores medidos del ángulo de incidencia θ_1 y del ángulo de refracción θ_2 de un haz luminoso que pasaba del aire al agua:

θ_1	θ_2	θ_1	θ_2
10°	7°45'	50°	35°0'
20°	15°30'	60°	40°30'
30°	22°30'	70°	45°30'
40°	29°0'	80°	50°0'

¿Son estos datos concordantes con la ley de Snell? De ser así. ¿cuál es el índice de refracción resultante? Estos datos son interesantes ya que representan las medidas físicas más antiguas registradas.

Respuesta: Sí; $n = 1.34$ contra el valor actual de 1.33.

- 4. ¿Cuál es la rapidez de la luz, en el cuarzo fundido, cuya longitud de onda es de 550 nm (= 5500 Å)? (Véase la Fig. 43-2.)
- 5. La rapidez de la luz amarilla del sodio en cierto líquido resulta ser de 1.92×10^8 m/s. ¿Cuál es el índice de refracción de este líquido, con respecto al aire, para la luz del sodio?
Respuesta: 1.56
- 6. Supóngase que se ha medido la rapidez de la luz en el aire con una incertidumbre de, por ejemplo, 1 km/s. Al calcular la rapidez de la luz en el vacío, supóngase que no se tiene la seguridad de si el valor de n para el aire es de 1.00029 o 1.00030. (a) ¿Cuál es la indeterminación adicional que se introduce en el cálculo de c ? (b) Estimar cuál es la precisión con la que se debería conocer n para este propósito.
- 7. Una pértiga con lastre en uno de sus extremos está colocada a 2.0 m por encima del fondo de una piscina y sobresale 0.50 cm de la superficie del agua. La luz del sol incide a 45° . ¿Cuál es la longitud de la sombra de la pértiga en el fondo de la piscina?
Respuesta: 1.4 m.
- 8. Se fabrica un prisma de 60° con cuarzo fundido. Un rayo de luz incide sobre una de sus superficies formando un ángulo de 45° con la normal. Trazar gráficamente, con cierto cuidado, el rayo a través del prisma, mostrando las trayectorias seguidas por los rayos que representan (a) a la luz azul, (b) a la luz amarilla verdosa y (c) a la luz roja. (Véanse las Figs. 43-2 y 43-6.)
- 9. Probar que un rayo de luz que incide sobre una superficie de una lámina de vidrio de espesor t emerge en la cara opuesta en una dirección paralela a su dirección inicial, pero desplazada lateralmente, como se muestra en la Fig. 43-18. Demostrar que para ángulos de incidencia θ pequeños, este desplazamiento está dado por

$$x = t\theta \frac{n-1}{n}$$

en donde n es el índice de refracción y θ se mide en radianes.

- 10. Supóngase que el índice de refracción de la atmósfera terrestre varía con la altura, solamente, desde el valor que tiene en la "orilla" de la atmósfera hasta algún valor mayor en la superficie de la Tierra. (a) Ignorando la curvatura de la Tierra, demostrar que el ángulo aparente que forma una estrella respecto a la dirección del cenit es independiente de la manera en que cambia el índice de refracción de la atmósfera con la altura, y sólo depende del valor de n en la superficie de la Tierra. (*Sugerencia:* Comparar una atmósfera uniforme con una que consta de capas cuyo índice de refracción aumenta progresivamente.) (b) ¿Cómo afecta este análisis la curvatura de la Tierra?

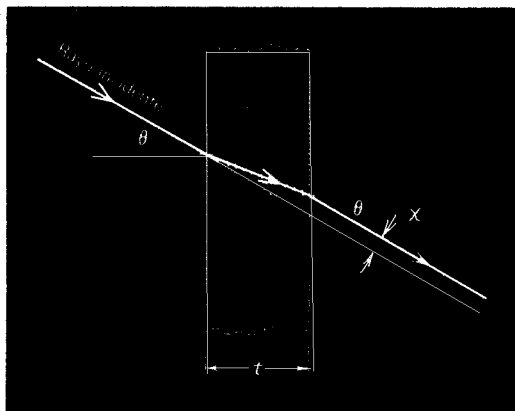


figura 43-19
Prob. 11.

11. Como se muestra en la Fig. 43-18, dos espejos perpendiculares forman los lados de un recipiente lleno con agua. Un rayo luminoso incide perpendicularmente a la superficie del agua. (a) Demostrar que el rayo saliente es paralelo al rayo incidente. Suponer que hay dos reflexiones en la superficie de los espejos. (b) Repetir el análisis para el caso en que la incidencia sea oblicua, pero el rayo se encuentre en el plano de la figura. (c) Indicar y demostrar cuál es el análogo tridimensional de este problema, utilizando tres espejos.
12. Demostrar que el ángulo de desviación de un rayo luminoso que incide casi normal (θ_1 pequeño) a un prisma delgado (ϕ pequeño) es independiente del ángulo de incidencia y es igual a $(n - 1) \phi$ (véase la Fig. 43-6).
13. Utilizando la Fig. 43-6 demostrar, dibujando rayos con un transportador, que si el ángulo θ del rayo incidente aumenta o disminuye, el ángulo ψ de desviación aumenta. La situación simétrica mostrada en la figura se llama *condición de desviación mínima*.



figura 43-18
Prob. 11

Principio de Huygens

SECCION 43-2

14. Un extremo de una barra se introduce en el agua con una rapidez v , que es mayor que la rapidez u de las ondas en el agua. Aplicando la construcción de Huygens a las ondas en el agua, demostrar que se establece un frente de ondas único y que el semiángulo α que forma está dado por

$$\text{sen } \alpha = u/v.$$

Este resultado es bien conocido, ya que ocurre con la onda generada por un barco en su movimiento a través del agua, o la onda de choque de un objeto que se mueve a través del aire con una rapidez que excede a la del sonido, como en la Fig. 20-12.

15. Cuando un electrón se mueve a través de un medio con una rapidez que excede a la de la luz en ese mismo medio, irradia energía electromagnética (el efecto Cerenkov, véase la Sec. 20-7). ¿Cuál debe ser la rapidez mínima de un electrón en un líquido cuyo índice de refracción sea de 1.54 para que emita esta radiación?
Respuesta: 1.9×10^8 m/s.

SECCION 43-5 Reflexión total interna

16. Un rayo de luz incide perpendicularmente a la cara ab de un prisma de vidrio ($n = 1.52$), como se muestra en la Fig. 43-20. (a) Suponiendo que el prisma está sumergido en aire, encontrar el valor máximo del ángulo ϕ tal que el rayo se refleje totalmente en la cara ac . (b) Encontrar ϕ si el prisma está sumergido en agua.

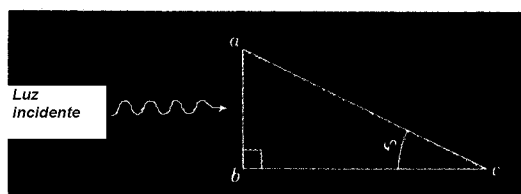


figura 43-20
Prob. 16.

17. Un rayo luminoso incide sobre una placa cuadrada de vidrio, como en la Fig. 43-21. ¿Cuál debe ser el índice de refracción del vidrio para que ocurra una reflexión interna total en la cara vertical?

Respuesta: $n > 1.22$.

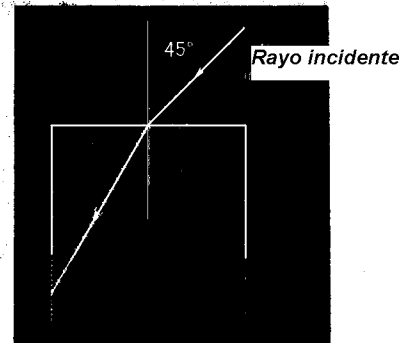


figura 43-21
Prob. 17.

18. Un rayo de luz monocromática, que inicialmente está en el aire, incide en un prisma de 90° en el punto P (véase la Fig. 43-22) y se refracta en ese punto y también en el punto Q , de tal forma que sale rasante a la superficie del lado derecho del prisma. (a) Determinar el índice de refracción del prisma, con respecto al aire, para esa longitud de onda, en términos del ángulo de incidencia θ_1 que da lugar a esa situación. (b) Determinar el límite superior del valor del índice de refracción del prisma. (c) Haciendo un diagrama, mostrar lo que ocurre si el ángulo de incidencia en P es ligeramente mayor, y ligeramente menor, que θ_1 .

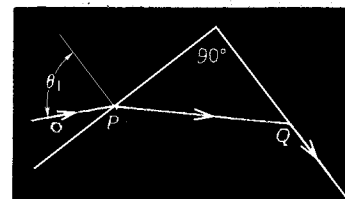


figura 43-22
Prob. 18.

19. Un prisma de vidrio tiene un vértice de 60° y un índice de refracción $n = 1.60$. (a) ¿Cuál es el menor ángulo de incidencia al cual puede penetrar el rayo en una cara del prisma y emerger en la otra? (b) ¿Qué ángulo de incidencia se necesita para que el rayo pase simétricamente a través del prisma, como en la Fig. 43-6?

Respuesta: (a) 36° . (b) 53° .

20. Una fuente puntual se encuentra a 80 cm por debajo de la superficie de un recipiente que contiene agua. Determinar el diámetro del mayor círculo en la superficie a través del cual la luz puede salir del agua.

21. Sobre una placa semicircular de vidrio se coloca una gota de líquido, como se muestra en la Fig. 43-23. (a) Indicar la forma en que se puede determinar el índice de refracción del líquido mediante la observación de la reflexión interna total. El índice de refracción del vidrio es desconocido y también debe determinarse. ¿Está restringida, de alguna manera, el intervalo de índices de refracción que se pueden determinar por este método? (b) En realidad, ¿qué tan práctico es este método?

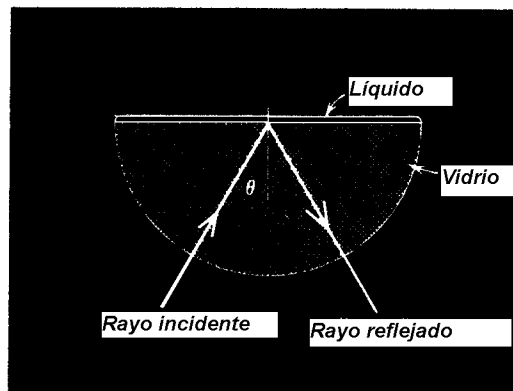


figura 43-23
Prob. 21.

22. Una fuente luminosa puntual se coloca a una distancia h por debajo de la superficie de un lago profundo. (a) Demostrar que la fracción f de la energía luminosa que escapa directamente a través de la superficie del agua es independiente de h y que su valor queda determinado por

$$f = \frac{1}{2}(1 - \sqrt{1 - 1/n^2})$$

en donde n es el índice de refracción del agua. (Nota: Ignorar la absorción en el agua y la reflexión en la superficie, excepto cuando sea reflexión total.) (b) Calcular esta fracción $n = 1.33$.

23. La Fig. 43-24 muestra a un prisma de desviación constante. Aunque está hecho con una sola pieza de vidrio, es equivalente a dos prismas de 30° , 60° y 90° , y a uno de 45° , 45° y 90° . Sobre el prisma incide luz blanca en la dirección indicada con i . El ángulo θ_1 se cambia girando al prisma en tal forma que la luz de cualquier longitud de onda siga la trayectoria mostrada, saliendo como el rayo r . Demostrar que si $\sin \theta_1 = \frac{1}{2}n$, entonces $\theta_2 = \theta_1$ y en consecuencia, los haces i y r son perpendiculares entre sí.

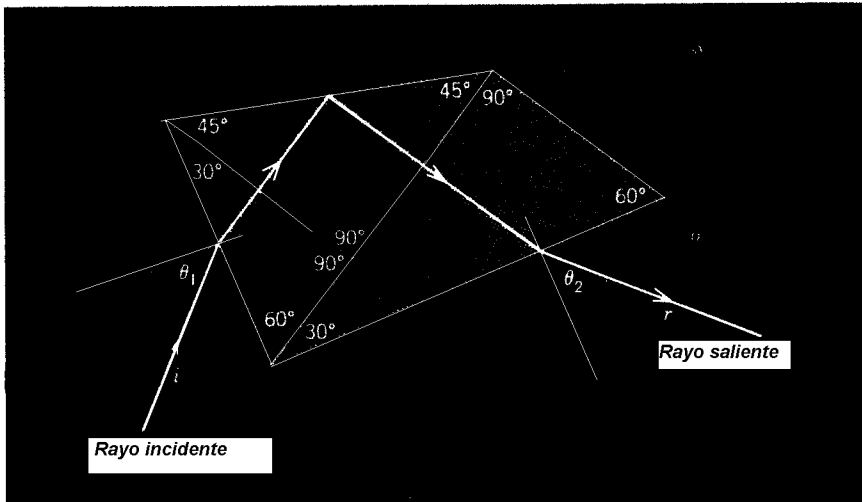


figura 43-24
Prob. 23.

24. Una onda plana de luz blanca que viaja en cuarzo fundido, incide en una superficie plana del cuarzo, formando un ángulo de incidencia θ . ¿Es posible que el haz reflejado internamente aparezca con una coloración (a) azulosa y (b) rojiza? ¿Cuál debe ser, aproximadamente, el valor del ángulo θ en cada caso? (Sugerencia: La luz blanca aparecerá azulosa si las longitudes de onda correspondientes al rojo se eliminan del espectro.)
25. Un cubo de vidrio tiene una pequeña mancha en su centro. (a) ¿Qué partes de la cara del cubo deben cubrirse para evitar que se vea la mancha, sin importar la dirección en que se observe? (b) ¿Qué fracción de la superficie del cubo se debe cubrir? Suponer que la arista del cubo es de 1.0 cm y que su índice de refracción es de 1.50. (Ignorar el comportamiento posterior de cualquier rayo reflejado internamente.)
Respuesta: (a) Cubrir el centro de cada cara con un disco opaco de 0.45 cm de radio.
 (b) Alrededor de 0.63.

SECCION 43-6 **Principio de Fermat**

26. Utilizando el principio de Fermat demostrar que el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal se encuentran sobre un plano.
27. Demostrar que las longitudes de los caminos ópticos en la reflexión y en la refracción mostradas en la Fig. 43-16 y en la Fig. 43-17 son mínimas comparadas con las longitudes de caminos cercanos que unan a los dos mismos puntos.
28. Una luz, cuya longitud de onda en el espacio vacío es de 600 nm ($= 6000 \text{ \AA}$) atraviesa 1.6×10^{-4} cm de un medio cuyo índice de refracción es de 1.5. Encontrar (a) la longitud del campo óptico, (b) la longitud de onda en el medio y (c) la diferencia de fase después de que se ha movido esa distancia, respecto a la luz que viaja esa misma distancia en el espacio vacío.